

СВЕТОТЕХНИКА

КРАТКОЕ СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

Москва
2004

Уважаемые коллеги!

Предлагаем Вашему вниманию справочное пособие по светотехнике, подготовленное кандидатом технических наук **Варфоломеевым Л. П.** при непосредственном участии специалистов компании «**Световые Технологии**».

Пособие рекомендовано менеджерам дистрибьюторских и торговых компаний, реализующих светотехническую продукцию и интересующимся людям, которые стремятся получить базовые знания по светотехнике.

Задача предлагаемого пособия проста. Часто возникает ситуация, когда конечный покупатель досконально не владеет техническими деталями, нуждается в консультации и тогда ему необходимо предложить обоснованное решение проблемы. Надеемся, что эта брошюра поможет Вам сориентироваться в многообразии предлагаемых светотехнических приборов с целью их рационального и эффективного использования при решении светотехнических задач различной сложности. Однако мы намеренно вышли за рамки ассортимента нашей компании, тем самым, намечая направления для его расширения.

Наша компания высоко ценит партнерские отношения с клиентами, дистрибьюторами, дилерами и благодарна проектным организациям, дизайнерским бюро и всем тем, кто активно работает над развитием и продвижением нашей торговой марки. Мы прислушиваемся к мнению покупателей нашей продукции, поскольку деятельность компании «**Световые Технологии**» направлена, прежде всего, на удовлетворение потребностей пользователей в современных и удобных световых приборах.

Мы будем признательны, если в случае возникновения вопросов и пожеланий, касающихся справочного пособия, Вы будете направлять их по адресу: **info@ltcom.ru** или обратитесь в наш офис по тел. (095) 721-1835, 721-3001, 721-3097. Ваши замечания обязательно будут учтены в последующих выпусках справочного пособия. Ваше мнение для нас очень важно!

1. ЧТО ТАКОЕ СВЕТ?

Человек наделен пятью органами чувств: зрением, слухом, обонянием, осязанием и вкусом. С помощью этих чувств мы получаем информацию об окружающем нас мире. Роль каждого из них в объеме получаемой нами информации существенно различается: около 80 % всей воспринимаемой человеком информации приходится на долю только одного чувства — зрения. Поэтому с полным основанием мы можем назвать зрение основным чувством, с помощью которого мы познаем мир, его красоту, богатство форм, красок, содержания.

Но для работы нашего органа зрения — глаза — необходимо наличие еще одного важнейшего фактора — света. Зрение и свет связаны самым непосредственным образом: если человеку завязать глаза (как бы выключить их) в светлом месте или ввести его с открытыми глазами в помещение без какого-либо света, то эффект будет одинаков — человек теряет ориентировку, и на помощь ему приходят другие чувства (слух, обоняние, осязание).

Так что же такое свет?

По современным научным представлениям ***свет*** — это электромагнитное излучение с определенными параметрами. Электромагнитных излучений как природного, так и искусственного происхождения существует множество: это и радиотелевизионные сигналы, рентгеновские и космические лучи, и свет, и многое другое. Общим для всех видов электромагнитных излучений является скорость их распространения в вакууме, равная 300 000 000 метров в секунду.

Электромагнитные излучения характеризуются частотой колебаний, показывающей число полных циклов колебаний в секунду, или длиной волны, то есть расстоянием, на которое распространяется излучение за время одного колебания (как говорят, за «один период колебаний»). ***Частота колебаний*** (обычно обозначается буквой f), ***длина волны*** (обозначается λ) и ***скорость распространения излучений*** (обозначается c) связаны простым соотношением:

$$c = f\lambda.$$

Если в радиотехнике обычно пользуются понятием «частота», то в светотехнике и в оптике принято характеризовать излучение длиной волны. Так вот, *свет* — это электромагнитное излучение с длина-

ми волн от 380 до 760 миллиардных долей метра или нанометров (сокращенно *нм*).

Излучения с разной длиной волны воспринимаются глазом по-разному: от 380 до 450 *нм* — как фиолетовый цвет; от 450 до 480 — как синий; от 480 до 510 — как голубой; от 510 до 550 — как зеленый; от 550 до 575 — как желто-зеленый; от 575 до 590 — как желтый; от 590 до 610 — как оранжевый; более 610 *нм* — как красный цвет. Границы цветов приблизительны и у разных людей могут несколько различаться.

Белый цвет — это совокупность всех или нескольких цветов, взятых в определенной пропорции. Если луч белого света пропустить через стеклянную призму, то он разложится на цветные составляющие. Совокупность цветных составляющих сложного излучения называется ***спектром излучения*** (рис. 1).

Ультрафиолетовое			Видимое								Инфракрасное	
Бактерицидное	Эритемное	Загар	Фиолетовое	Синее	Голубое	Зеленое	Желто-зеленое	Желтое	Оранжевое	Красное	Нагрев	Сушка

Рис. 1. Спектр оптического излучения

Чувствительность глаза к излучению разных цветов неодинакова — если на глаз попадает цветной свет с одинаковой мощностью электромагнитного излучения, то желтые и зеленые цвета будут казаться гораздо более светлыми, чем синие и красные. Международный комитет мер и весов в 1933 году принял единую стандартную чувствительность глаза к излучению разных цветов для дневного зрения. На рис. 2 показана ***стандартизованная кривая спектральной чувствительности глаза***, называемая в светотехнической литературе также «кривой относительной спектральной световой эффективности излучения». На основе кривой спектральной чувствительности глаза для дневного зрения построена вся система световых величин и единиц. Максимум кривой спектральной чувствительности глаза лежит в желто-зеленой области спектра и приходится на дли-

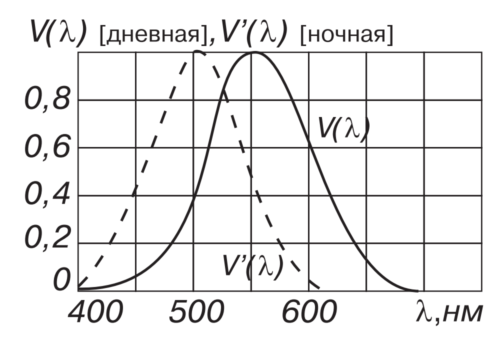


Рис. 2. Кривая спектральной чувствительности глаза

ну волны 555 нм. Если света мало, то кривая спектральной чувствительности смещается в сторону коротких длин волн, то есть в сторону синих цветов. Каждый человек по собственному опыту знает, что ночью голубые и синие цвета кажутся значительно светлее, а красные становятся черными. «Ночная» кривая чувствительности глаза также стандартизована международными организациями в 1951 году.

Излучения с длинами волн короче 380 и длиннее 760 *нм* глазом не воспринимаются. Коротковолновое излучение, называемое ***ультрафиолетовым***, оказывает сильное биологическое действие — образует загар на коже человека, убивает микробы, а также вызывает различные фотохимические реакции (превращает обычный кислород воздуха в озон, приводит к выцветанию красок и т.п.). С помощью специальных веществ — люминофоров — ультрафиолетовое излучение может быть превращено в видимый свет (подробно об этом будет сказано в главе, посвященной люминесцентным лампам).

Длинноволновое излучение, называемое ***инфракрасным***, воспринимается кожей человека как тепло. Это излучение используется для сушки лакокрасочных покрытий, нагревания предметов, в медицинских целях, в устройствах дистанционного управления радиоаппаратурой и т.п.

В совокупности видимое, ультрафиолетовое и инфракрасное излучения образуют ***оптический диапазон спектра*** электромагнитных колебаний или ***оптическое излучение.***

2. СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

Для оценки количественных и качественных параметров света разработана специальная система световых величин.

Основной мерой света можно считать световой поток, обозначаемый в светотехнической литературе буквой *Ф.* Фактически ***световой поток*** — это мощность светового излучения, измеренная не в привычных ваттах или лошадиных силах, а в специальных единицах, называемых люменами (сокращенное обозначение в русскоязычной технической литературе — *лм*, в иностранной — *lm*).

Что же такое люмен? ***Люмен*** — это 1/683 ватта светового монохроматического, то есть строго одноцветного, излучения с длиной волны 555 *нм*, соответствующей максимуму кривой спектральной чувствительности глаза. Величина 1/683 появилась исторически, когда основным источником света были обычные свечи, и излучение только появлявшихся электрических источников света сравнивалось со светом таких свечей. В настоящее время эта величина (1/683) узаконена многими международными соглашениями и принята повсеместно.

Световой поток от источников света — будь то простая спичка или сверхсовременная электрическая лампа — как правило, распространяется более или менее равномерно во все стороны. Однако с помощью зеркал или линз свет можно направить нужным нам образом, сосредоточив его в некоторой части пространства. Часть или доля пространства характеризуется телесным углом. Понятие «телесный угол» прямого отношения к свету не имеет, однако используется в светотехнике настолько широко, что без него невозможно объяснение многих светотехнических терминов и величин.

Телесный угол — это отношение площади, вырезаемой этим углом на сфере произвольного радиуса R, к квадрату этого радиуса (см. рис. 3). В технической литературе телесные углы обычно обозначаются греческой буквой ω и измеряются в стерадианах (сокращенно *ср*):

$$\omega = S/R^2 .$$

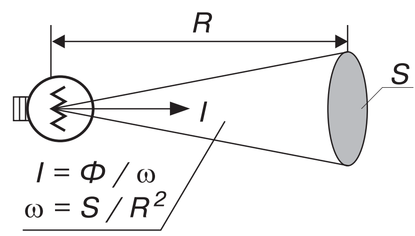


Рис. 3. Телесный угол

Очевидно, что величины S и R должны измеряться в одинаковых единицах.

Если световой поток Φ от какого-либо источника света сосредоточить в телесном угле ω, то можно говорить о силе света этого источника как об угловой плотности светового потока. Таким образом, ***сила света*** (обозначается буквой I) — это отношение светового потока, заключенного в каком-либо телесном угле, к величине этого угла:

$$I = \Phi/\omega .$$

Если источник света светит равномерно по всему пространству, то есть в телесном угле 4π (так как площадь сферы равна $4\pi R^2$), то сила света такого источника равна $\Phi/4\pi$, т.е. $\Phi/12{,}56$. Сила света измеряется в канделах (сокращенное русское обозначение *кд,* иностранное — *cd*). Слово кандела переводится на русский язык как свеча, и именно свечой называлась единица силы света в СССР до 1963 года. Одна ***кандела*** — это сила света источника, излучающего световой поток 1 *лм* в телесном угле 1 *ср*. Примерно такую силу света имеет обычная стеариновая свеча (отсюда ясно, что световой поток такой свечи равен примерно 12,56 *лм*).

Свет от какого-либо источника нужен, как правило, для того, чтобы осветить конкретное место — рабочий стол, витрину, улицы и т.п. Для характеристики освещения конкретных мест вводится еще одна световая величина — освещенность. ***Освещенность*** — это величина светового потока, приходящаяся на единицу площади освещаемой поверхности. Если световой поток Φ падает на какую-то площадь $S,$ то средняя освещенность этой площади (обозначается буквой E) равна:

$$E = \Phi/S .$$

Единица измерения освещенности называется *люксом* (сокращенное обозначение в русскоязычной литературе — *лк,* в иностранной — *lx*). Один ***люкс*** — это освещенность, при которой световой поток 1 *лм* падает на площадь в 1 квадратный метр:

$$1\ лк = 1\ лм/\ 1\ м^2 .$$

Чтобы представить себе эту величину, скажем, что освещенность около 1 *лк* создается стеариновой свечой на плоскости, перпендикулярной направлению света, с расстояния 1 метр. Для сравнения: освещенность от полной Луны на поверхности Земли зимой на широте Москвы не превышает 0,5 *лк*; прямая освещенность от Солнца в летний полдень на широте Москвы может достигать 100 000 *лк.*

Допустим, что на рабочем столе освещенность равна 100 *лк.* На столе лежат листы белой бумаги, какая-то папка черного цвета, книга в сером переплете. Освещенность всех этих предметов одинакова,

а глаз видит, что листы бумаги светлее книги, а книга — светлее папки. То есть наш глаз оценивает светлоту предметов не по их освещенности, а по какой-то другой величине. Эта «другая величина» называется яркостью. ***Яркость поверхности*** S — это отношение силы света $I,$ излучаемой этой поверхностью в каком-либо направлении, к площади проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную выбранному направлению (рис. 4). Как известно, площадь проекции какой-либо плоской поверхности на другую плоскость равна площади этой поверхности, умноженной на косинус угла между плоскостями. В технической литературе яркость обозначается буквой L:

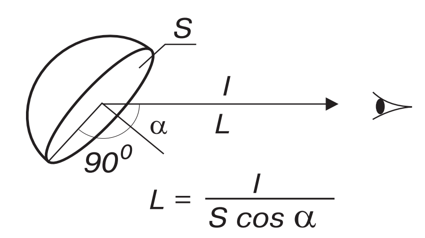


Рис. 4. К определению понятия «Яркость»

$$L = I / S \cos \alpha .$$

В этой формуле I — сила света поверхности в определенном направлении (например, плоскости рабочего стола или лежащих на нем предметов); S — площадь этой поверхности; α — угол между перпендикуляром к плоскости и направлением, в котором мы хотим знать яркость (например, линией зрения, то есть линией, соединяющей глаз и оцениваемую поверхность).

Если для светового потока, силы света и освещенности существуют специальные единицы измерения (люмен, кандела и люкс), то для единицы измерения яркости специального названия нет. Правда, в старых (до 1963 года) учебниках по физике, светотехнике, оптике и в другой технической литературе было несколько названий единиц измерения яркости: в русскоязычной — ***нит*** и ***стильб***, в англоязычной — ***фут-ламберт***, ***апостильб*** и др. Международная система СИ ни одну из этих единиц не приняла, а принятой единице измерения яркости специального названия не придумала.

За ***единицу измерения яркости*** сейчас во всех странах принята яркость плоской поверхности, излучающей силу света в 1 *кд* с одного квадратного метра в направлении, перпендикулярном светящей поверхности, то есть 1 $кд/м^2$.

От чего же зависит яркость предметов?

Прежде всего, конечно, от количества попадающего на них света. Но в приведенном примере на все предметы, лежащие на столе, попадает одинаковое количество света. Значит, яркость зависит и от свойств самих предметов, а именно — от их способности отражать падающий свет.

Способность предметов отражать падающий на них свет характеризуется коэффициентом отражения, обычно обозначаемым гре-

ческой буквой ρ. ***Коэффициент отражения*** — это отношение величины светового потока, отраженного от какой-либо поверхности, к световому потоку, падающему на эту поверхность от какого-либо источника света или светильника:

$$\rho = \Phi_{отраженный} / \Phi_{падающий} .$$

Чем выше коэффициент отражения предмета, тем более светлым он нам кажется. В приведенном примере с рабочим столом коэффициент отражения листов бумаги выше, чем переплета книги, а у этого переплета — выше, чем у папки.

Коэффициент отражения материалов зависит как от свойств самих материалов, так и от характера обработки их поверхности. Отражение может быть направленным в какую-то одну сторону или рассеянным в определенном телесном угле. Возьмем лист обычной белой писчей бумаги или ватмана. С какой бы стороны и под каким бы углом мы на такой лист не смотрели, он кажется нам одинаково светлым, то есть яркость его по всем направлениям одинакова. Такое отражение называется ***диффузным*** или ***рассеянным***; соответственно, поверхности с таким характером отражения также называются диффузными. Это неглянцевая бумага, большинство тканей, матовые краски, побелка, шероховатые металлические поверхности и многое другое.

Но если мы начнем полировать шероховатую металлическую поверхность, то характер ее отражения начнет изменяться. Если поверхность отполирована очень хорошо, то весь падающий на нее свет будет отражаться в одну сторону. При этом угол, под которым отражается падающий свет, точно равен углу, под которым он падает на поверхность. Такое отражение называется ***зеркальным***, а равенство углов падения и отражения света является одним из базовых законов светотехники: на этом законе основаны все методы расчетов прожекторов и светильников с зеркальной оптической частью.

Кроме зеркального и диффузного отражения, существует ***направленно-рассеянное*** (например, от плохо отполированных металлических поверхностей, шелковых тканей или от глянцевой бумаги), а также ***смешанное*** (например, от молочного стекла). На рис. 5 (см. след. страницу) показаны примеры различного характера отражения материалов.

Кривая, характеризующая угловое распределение коэффициента отражения, называется ***индикатрисой отражения***.

Для поверхностей с диффузным отражением яркость связана с освещенностью простым соотношением:

$$L_{дифф} = E\,\rho/\pi .$$

Яркость зеркальной поверхности равна яркости отражающихся в ней предметов (источников света, потолка, стен и т.п.), умноженной на коэффициент отражения:

$$L_{зерк} = \rho\, L_{отраженных\ предметов}\ .$$

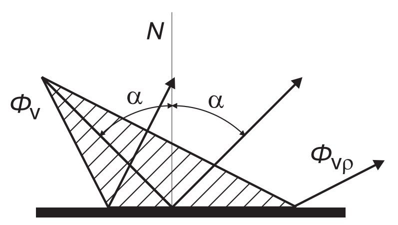
Для оценки яркости предметов и поверхностей с направленно-рассеянным и смешанным отражением необходимо знать индикатрисы отражения.

Четыре названных световых величины — световой поток, сила света, освещенность и яркость — это те важнейшие понятия, без знания которых невозможно объяснение работы источников света и осветительных приборов. Однако для такого объяснения необходимо еще и знание светотехнических характеристик материалов.

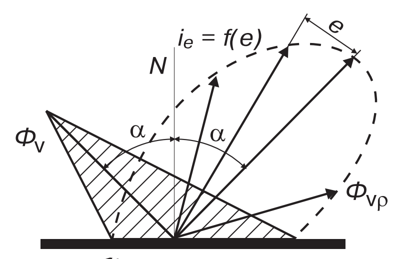
С одной из таких характеристик — коэффициентом отражения — мы уже познакомились. Но в природе нет материалов, отражающих весь падающий на них свет, то есть материалов, у которых $\rho = 1$. Та доля света, которая не отражается от материала, в общем случае делится еще на две части: одна часть проходит сквозь материал, другая поглощается в нем. Доля света, которая проходит сквозь материал, характеризуется ***коэффициентом пропускания*** (обозначается греческой буквой τ); а доля, которая поглощается — ***коэффициентом поглощения*** (обозначается α):

$$\tau = \Phi_{прошедший} / \Phi_{падающий}\ .$$

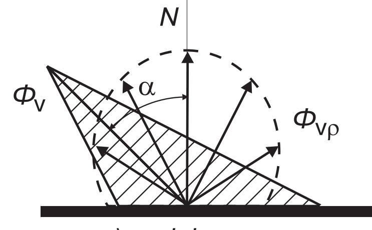
$$\alpha = \Phi_{поглощенный} / \Phi_{падающий}\ .$$



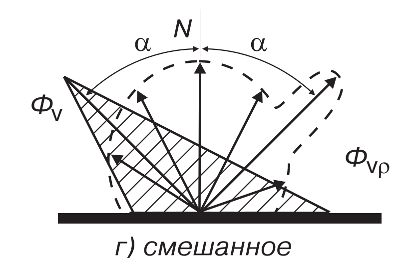
а) направленное (зеркальное)



б) направленно-рассеянное



в) диффузное (рассеянное)



г) смешанное

Рис.5. Индикатрисы отражения

Соотношения между этими тремя коэффициентами — отражения, поглощения и пропускания — могут быть самыми разными, но во всех без исключения случаях сумма трех коэффициентов равна единице:

$$\rho + \tau + \alpha = 1\ .$$

В природе нет ни одного материала, у которого хотя бы один из трех коэффициентов был равен 1. Наибольшее диффузное отражение имеют свежевыпавший снег ($\rho \approx 1$), химически чистые сернокислый барий и окись магния ($\rho = 0{,}96$). Наибольшее зеркальное отражение у чистого полированного серебра ($\rho = 0{,}92$) и у специально обработанного алюминия (по рекламным данным, алюминий марки «Miro» немецкой фирмы Alanod имеет $\rho = 0{,}95$).

Величина коэффициента пропускания указывается в справочной литературе для определенной толщины материала (обычно для 1 см). К наиболее прозрачным материалам можно отнести особо чистый кварц и некоторые марки полиметилметакрилата (органического стекла), у которых $\rho = 0{,}99/см$.

Гипотетическое (реально несуществующее!) вещество с коэффициентом поглощения, равным 1, называется «абсолютно черным телом» — к этому понятию мы еще обратимся при объяснении работы тепловых источников света.

Как и отражение, пропускание света может быть направленным (у силикатных или органических стекол, поликарбоната, полистирола, кварца и т.п.), диффузным или рассеянным (молочные стекла), направленно-рассеянным (матированные стекла) и смешанным.

Подавляющее большинство материалов по-разному отражает, пропускает или поглощает свет с разной длиной волны, то есть разного цвета. Именно это свойство материалов определяет их цвет и создает многокрасочность окружающего нас мира. Для полной характеристики светотехнических свойств материалов необходимо знать не только абсолютные значения их коэффициентов отражения, пропускания и поглощения, но и распределение этих коэффициентов в пространстве (индикатрисы) и по длинам волн. Распределение коэффициентов по длинам волн называется ***спектральными характеристиками*** (отражения, пропускания или поглощения).

Все три названных коэффициента являются относительными (безразмерными) величинами и измеряются в долях единицы или в процентах (в тех же долях, умноженных на 100).

3. НОРМИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Очевидно, что работа нашего глаза напрямую зависит от условий освещения, а от работы глаза зависят и скорость, и качество любой деятельности, в которой зрение принимает хоть какое-то участие. Поэтому человек с незапамятных времен пытался хоть как-то осветить те места, где ему приходилось работать в темное время суток при отсутствии природного источника света — Солнца. С доисторических времен и до конца 19-го века единственным искусственным источником света был огонь — костра, факела, лучины, свечи, керосиновой или газовой лампы. Света от таких источников было явно недостаточно, хотя он и позволял кое-как выполнять многие виды работ. Ни о каком измерении параметров освещения, а тем более об их нормировании не могло быть и речи.

Положение коренным образом изменилось после изобретения электрических источников света в 70-е годы 19-го века. Наблюдательные предприниматели быстро заметили, что с улучшением освещения у рабочих повышается производительность труда и снижается количество брака, при этом чем сложнее была работа, тем большей была отдача от улучшения освещения. Получалось, что вкладывать средства в освещение — дело выгодное, и электрический свет начал свое триумфальное шествие по заводам и фабрикам, вытесняя свечи и керосиновые лампы.

Но тут же встал вопрос — а сколько надо света, чтобы хорошо выполнять работу и не делать лишних затрат на строительство новых электростанций и установку все большего количества ламп. Другими словами, появилась необходимость нормирования освещения, то есть определения конкретных параметров света, которые должны быть обеспечены на рабочих местах.

Вопрос нормирования освещения возник более ста лет назад, но до сих пор его нельзя считать окончательно решенным. В 1999 году Европейский комитет по стандартизации принял новые нормы освещенности, получившие статус общеевропейских, и с 2003-го года началось введение этих норм в действие в странах Европейского Союза.

Какие же параметры освещения сейчас нормируются?

Для всех рабочих мест внутри помещений и для рабочих мест вне помещений, на которых выполняется конкретная работа (железнодорожные станции, аэропорты, карьеры и т.п.), основной нормиру-

емой величиной является ***освещенность на рабочем месте.*** Величина нормируемой освещенности зависит, прежде всего, от характера выполняемой работы: размеров предметов, которые надо различать, фона, на котором находятся эти предметы, разницы яркостей предметов и окружающего их фона.

При освещении улиц, автомобильных туннелей, проезжих дорог основной нормируемой величиной служит ***яркость дорожного покрытия.*** Она устанавливается в зависимости от категории улиц (дорог), интенсивности движения, характера окружающей обстановки. Освещенность и яркость характеризуют количественную сторону освещения. Остальные нормируемые параметры определяют качество освещения.

Одна и та же освещенность может быть создана множеством разных способов, которые будут различаться между собой весьма существенно. Каждый человек знает, что присутствие в поле его зрения каких-либо ярких предметов (лампочек, Солнца) или их отражений («зайчиков») сильно затрудняет работу глаза, а иногда делает ее просто невозможной — глаз перестает видеть нужные предметы и особенно их детали. Как говорится в таких случаях в научно-технической литературе, у людей возникает ощущение ***дискомфорта,*** то есть зрительного неудобства, а в особо неблагоприятных случаях — чувство ***ослепленности.*** Эти ощущения зависят от яркости мешающих «зайчиков», их размеров и расположения относительно линии зрения. А свойство ярких предметов вызывать у глаза неприятные ощущения называется ***блескостью.***

Имеются различные методики оценки дискомфорта, создаваемого яркими источниками света или их отражениями. Величина допустимого значения дискомфорта или ослепленности является вторым нормируемым параметром освещения.

В российских нормативных документах регламентируется *показатель дискомфорта M.* Величина M зависит от характера выполняемой работы и может принимать значения от 15 до 90. В новых Европейских нормах освещенности нормируется ***обобщенный показатель дискомфорта UGR.*** Значения M и UGR связаны соотношением:

$$M = 16 \lg UGR - 4{,}8 .$$

В ряде случаев род работы требует четкого различения цвета предметов и их деталей. Это особенно необходимо там, где именно цвет является важнейшим критерием качества продукции — в полиграфии, текстильной промышленности, в некоторых магазинах и т.п. Поэтому для целого ряда рабочих мест (а в новых Европейских нормах освещенности — практически для всех рабочих мест) нормирует-

ся еще один качественный показатель освещения — ***общий индекс цветопередачи*** (в литературе обозначается $R_а$).

Что же это за параметр?

Зрительный аппарат человека сформировался за многие тысячи лет эволюции в условиях, когда единственным источником света было Солнце. Мы привыкли считать правильными те цвета предметов, которые они имеют при солнечном освещении. С конца 19-го века в жизнь людей стали активно вторгаться электрические источники света. Пока были только тепловые источники света (лампы накаливания), имеющие сплошной спектр излучения, зрительный аппарат человека подсознательно вносил коррективы в восприятие цветов при искусственном освещении, и проблем с оценкой качества цветопередачи не возникало. Положение резко изменилось с массовым внедрением газоразрядных источников света, имеющих не сплошной, а линейчатый или полосчатый спектр излучения. Люди стали замечать, что при освещении таким светом цвет предметов изменяется, и иногда изменение цвета бывает настолько сильным, что предметы становятся трудноузнаваемыми. Поэтому в 70-е годы минувшего века была выработана методика оценки качества цветопередачи при освещении искусственным светом.

Международными организациями было выбрано и согласовано несколько типов предметов, цвет которых оценивался при освещении их различными источниками света: человеческая кожа, зеленые листья растений, специальные выкраски. Оценки качества цветопередачи каждого из таких предметов при освещении их оцениваемым источником света по сравнению с освещением «стандартным» источником были названы «частными индексами цветопередачи (R_1, R_2 … R_{14})», а средняя из полученных 14-ти оценок — «общим индексом цветопередачи R_a». За «стандартный» источник был принят свет тепловых излучателей, то есть ламп накаливания — их общий индекс цветопередачи по соглашению равен 100. Таким образом, у всех ламп накаливания R_a = 100; у всех газоразрядных ламп R_a меньше 100.

В мире принята такая система оценки качества цветопередачи:

$R_a \geq 90$ — отличное;

$90 > R_a > 80$ — очень хорошее;

$80 > R_a > 70$ — хорошее;

$70 > R_a > 60$ — удовлетворительное;

$60 > R_a > 40$ — приемлемое;

$R_a < 40$ — плохое.

В российских нормах освещения установлено, что для предприятий полиграфической, текстильной, лакокрасочной отраслей промышленности, а также для хирургических отделений больниц R_a должен быть не ниже 90.

В России нормируется еще один качественный показатель освещения — ***коэффициент пульсации освещенности***. Нормирование этого показателя также потребовалось в связи с повсеместным внедрением газоразрядных источников света, так как у излучения ламп накаливания пульсации весьма незначительны и каких-либо неудобств от их существования люди не испытывали.

У газоразрядных источников света — люминесцентных, металлогалогенных, натриевых ламп — величина светового потока изменяется с удвоенной частотой тока сети. В России, странах СНГ, Европы и Азии частота переменного тока в электрических сетях равна 50 *Гц*; в США, Канаде и ряде других стран — 60 *Гц*. Следовательно, световой поток ламп изменяется («пульсирует») 100 или 120 раз в секунду — все газоразрядные лампы как бы мерцают с такой частотой. Глаз этих мерцаний не замечает, но они воспринимаются организмом и на подсознательном уровне могут вызывать неприятные явления — повышенную утомляемость, головную боль и даже (по последним сообщениям зарубежной печати) стрессы. Кроме этого, при освещении пульсирующим светом вращающихся или вибрирующих предметов возникает так называемый «стробоскопический эффект», когда при совпадении частоты вращения или вибрации с частотой пульсаций света предметы кажутся неподвижными, а при неполном совпадении — вращающимися с очень малыми скоростями. Это вызывает у людей ошибочные реакции и является одной из серьезных причин травматизма на производстве.

Глубина пульсаций измеряется коэффициентом пульсации освещенности *Кп*:

$$Кп = 2(E_{max} - E_{min})100\ \%/(E_{max} + E_{min}),$$

где E_{max} и E_{min} — максимальное и минимальное значения освещенности за полупериод сетевого напряжения.

В российских нормах установлено, что глубина пульсации освещенности на рабочих местах не должна превышать 20 %, а для некоторых видов производства — 15 %.

Таким образом, в нормативных документах регламентируются четыре параметра — величина освещенности, показатель дискомфорта, общий индекс цветопередачи и коэффициент пульсаций освещенности. Первый из этих параметров определяет количественную сторону освещения, три остальных — качественную.

В России главным документом, устанавливающим параметры освещения, являются ***Строительные нормы и правила*** СНиП 23-05-95. Кроме этих норм, имеются ***Санитарные правила и нормы*** СанПиН 2.21/2.1.1.1278-03, ***Московские городские строительные нормы*** МГСН 2.06-99 и множество отраслевых норм, в

которых подробно расписаны требования к освещению различных рабочих мест.

В Европе, кроме недавно принятых новых Европейских норм освещенности, имеется несколько десятков специализированных норм (например, для дорожного, уличного и туннельного освещения, для освещения спортивных сооружений и т.п.), а также многие национальные нормы и правила. Но во всех нормативных документах регламентируются те же четыре параметра, что и в России. Нормируемые величины различаются в разных странах, но эти различия не носят принципиального характера.

В новых Европейских нормах освещенности для ряда помещений введен еще один нормируемый параметр: для рабочих мест, оснащенных дисплеями (а в современных условиях — практически для всех рабочих мест в офисах), устанавливаются требования к максимальной яркости тех поверхностей светильников, которые могут отражаться в экранах. Для компьютеров 90-х годов эта яркость не должна превышать 200 *кд/м*^{2}; для современных мониторов с антибликовыми покрытиями экранов электронно-лучевых трубок или с жидкокристаллическими экранами яркость отражающихся в них светильников должна быть не более 1000 *кд/м*^{2}.

В качестве примера в таблице 1 приведены фрагменты новых Европейских норм освещенности.

Таблица 1

Нормы освещенности EN 12464 для некоторых помещений

Вид помещений, род деятельности	Освещённость, лк	Обобщённый показатель дискомфорта UGR	Индекс цветопередачи R_a
Гардеробы, проходы, зоны движения	300	19	80
Письмо, машинопись, чтение, обработка данных	500	19	80
Техническое черчение	750	16	80
Рабочие места для компьютерного проектирования	500	19	80
Конференц-залы и комнаты для переговоров	500 (освещение должно быть регулируемым)	19	80
Приёмные	300	22	80
Архивы	200	25	80

4. ИСТОЧНИКИ СВЕТА

С древнейших времен человек видел различные источники света. Кроме упомянутого выше огня, люди встречали (конечно, не понимая еще сути явлений) свет электрического разряда в газе — молнии и полярные сияния; химическую люминесценцию — полет светлячков и свечение некоторых видов микроорганизмов в южных морях. Но все это были природные, естественные источники света, а единственным искусственным источником до конца 19-го века оставался огонь в различных его проявлениях.

С конца 19-го века, во многом благодаря усилиям русских изобретателей А. Н. Лодыгина и П. Н. Яблочкова, началось бурное развитие совершенно новых — электрических — источников света. За 130 лет существования электрические источники света в развитых странах практически полностью вытеснили свет огня — свечи и керосиновые лампы теперь используются разве что в далеких деревнях, в турпоходах да для создания интимной обстановки, и только в редких случаях (например, при отключениях электричества) — для освещения.

Электрические источники света с самого начала развивались по двум направлениям: «лодыгинское» — использование теплового действия электрического тока для разогрева тел до такой температуры, при которой они создают достаточно яркий свет, и «яблочковское» — использование для генерации света электрического разряда между двумя электродами. Первое направление привело к созданию ***тепловых*** источников света, второе — ***газоразрядных*.** Именно эти два типа до недавнего времени (конец 90-х годов 20-го века) охватывали все многообразие искусственных источников света — от сверхминиатюрных ламп накаливания мощностью в сотые доли ватта до разборных ксеноновых ламп мощностью до 150 *кВт*.

В последние годы, кроме этих двух типов, появился и начал все активнее вторгаться во все области третий тип электрических источников света — ***полупроводниковый*.** По прогнозам специалистов, именно этому новому типу принадлежит будущее — уже лет через 10 – 12 может начаться массовое повсеместное внедрение полупроводниковых источников света — *светодиодов* — не только для световой сигнализации, где они уже сегодня составляют серьезную конкуренцию традиционным лампам накаливания, но и для общего освещения.

Следует сказать, что в настоящее время существуют и неэлектрические искусственные источники света — ***химические***, в которых свет создается при протекании некоторых химических реакций; ***фотолюминесцентные***, где свет образуется за счет длительного послесвечения некоторых люминофоров после освещения их естественным или искусственным светом; ***радиолюминесцентные***, в которых свет возбуждается под действием радиоактивного облучения. Но все эти источники, хотя и находят достаточно широкое применение, создают лишь мизерные доли суммарного светового потока, вырабатываемого искусственными источниками, и далее нами не рассматриваются. Также не рассматриваются и электролюминесцентные источники света, используемые в ряде устройств отображения информации, но не для общего освещения.

Прежде чем перейти к рассмотрению принципов работы электрических источников света, их особенностей, параметров и областей применения, познакомимся с общими параметрами, по которым и можно сравнивать различные источники, чтобы выбирать наиболее подходящие из них в конкретных случаях.

4.1. Параметры сравнения источников света

Все параметры источников света можно разбить на две группы: технические и эксплуатационные.

Технические параметры — это те, которые характеризуют сам источник света безотносительно к условиям его применения. К техническим относятся все электрические, световые и механические параметры ламп.

Основные электрические параметры источников света:

1. ***Номинальное напряжение*** ($U_н$) — напряжение, на которое рассчитана конкретная лампа или на которое она может включаться с предназначенной для этого специальной аппаратурой. Для ламп накаливания все остальные параметры снимаются именно при номинальном напряжении. Номинальное напряжение (впрочем, как и любое другое) измеряется в *вольтах* (сокращенное обозначение — *В, V*).

2. ***Номинальная мощность* лампы** ($P_н$) — расчетная мощность, потребляемая лампой накаливания при ее включении на номинальное напряжение. Для газоразрядных ламп номинальная мощность — это расчетная мощность, которую потребляет лампа при ее включении со специально предназначенной для этого аппаратурой. Мощность измеряется в ***ваттах*** (сокращенное обозначение — *Вт, W*).

3. Для газоразрядных ламп иногда оговаривается *род питающего тока — переменный* или *постоянный*, так как отдельные типы ламп

могут работать только на постоянном токе (например, шаровые ксеноновые или ртутные). Если такой оговорки в документации на лампу нет, то лампы должны включаться только на переменное напряжение. При работе на постоянном токе обязательно указывается ***полярность включения***: к какому выводу лампы должен подключаться положительный полюс сети (+), к какому — отрицательный (-). Электрод лампы, к которому подключается положительный полюс напряжения, называется ***анодом***, отрицательный — ***катодом***.

4. Для некоторых типов ламп (например, для эталонных или образцовых ламп накаливания) вместо номинальной мощности указывается ***номинальный ток*** ($I_н$), который измеряется в амперах (*А*) или миллиамперах (*мА*, *mA*; 1 *А* = 1000 *мА*).

Из световых параметров в каталогах и справочниках чаще всего указывается номинальный световой поток Φ, то есть поток, который создает лампа при ее номинальной мощности. Единица измерения светового потока, как уже было сказано, — люмен (*лм, lm*).

Для кинопроекционных и прожекторных ламп часто вместо светового потока указывается ***габаритная яркость тела накала*** (для ламп накаливания) или ***яркость разрядного промежутка*** (для ксеноновых ламп). Габаритная яркость тела накала равна силе света лампы в направлении, перпендикулярном телу накала, поделенной на площадь прямоугольника, в который вписывается тело накала. Поскольку яркости таких ламп очень велики, их измеряют не в *кд/м*^{2}, а в кило- или мегаканделах на квадратный метр (*ккд/м*^{2} или *Мкд/м*^{2}; 1 *ккд/м*^{2} = 1000 *кд/м*^{2}; 1 *Мкд/м*^{2} = 1 000 000 *кд/м*^{2}).

Для зеркальных ламп разных типов в технической документации указываются ***осевые силы света*** и приводятся ***кривые распределения сил света*** по углам (обычно в виде графиков в прямоугольной или полярной системе координат). В зарубежных каталогах для зеркальных ламп часто приводятся ***номограммы освещенности***, то есть значения освещенности на плоскости, перпендикулярной оси лампы, при различных расстояниях от лампы до освещаемой плоскости (рис. 6).

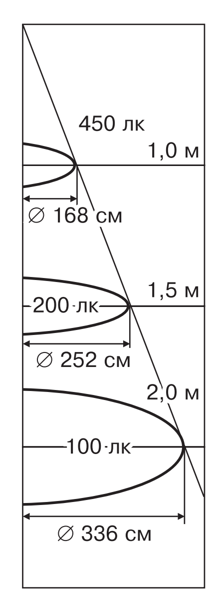


Рис. 6. Номограммы освещенности для зеркальных ламп

Важнейшим световым показателем ламп, характеризующим их экономичность, является ***световая отдача*** — это отношение светового потока лампы к потребляемой ею мощности. Световая отдача измеряется в люменах на ватт (*лм/Вт, lm/W*). По существу, световая отдача — это коэффициент полезного действия лампы, выраженный в световых величинах. При

равенстве остальных показателей световая отдача является решающим фактором для выбора источника света.

К световым параметрам источников света относится ***цветовая температура*** ($T_{цв}$). Это условная величина, приблизительно характеризующая цвет излучения лампы и определяемая путем сравнения этого цвета с цветом теплового излучения так называемого «абсолютно черного тела». Измеряется $T_{цв}$ в ***кельвинах*** (*K*). Для ламп накаливания цветовая температура довольно близка к истинной температуре тела накала; для стандартных осветительных ламп мощностью 40 – 100 *Вт* $T_{цв}$ = 2700 – 2900 *K,* для галогенных ламп накаливания 2900 – 3100 *K*.

Для газоразрядных ламп цветовая температура указывается приблизительно. Следует отметить, что глаз человека воспринимает свет источников с различной цветовой температурой своеобразно: чем выше $T_{цв}$, тем «холоднее» кажется нам свет. Так, для люминесцентных ламп понятие «тепло-белый цвет» соответствует $T_{цв}$ = 2700 – 3000 *K*, «нейтрально-белый» — $T_{цв}$ = 4000 – 4500 *K*, «холодно-белый» — $T_{цв}$ = 5000 – 6000 *K*.

Для характеристики газоразрядных источников света в каталогах и другой технической литературе приводится еще один световой параметр — общий индекс цветопередачи R_a. Как было сказано в предыдущем разделе, все тепловые источники света имеют R_a = 100. У всех газоразрядных ламп R_a < 100. Очевидно — чем выше значение R_a, тем лучше качество цветопередачи, то есть тем лучше лампа. Но на практике чем больше R_a, тем лампа дороже, и иногда разница в цене весьма значительна (в 4 – 6 раз). При этом лампы с лучшей цветопередачей имеют, как правило, меньшую световую отдачу. Поэтому применять лампы с очень высоким значением R_a (>90) целесообразно только там, где это действительно необходимо (например, в цветной полиграфии).

К ***механическим параметрам ламп*** относятся их габаритные и установочные размеры; ***масса*** (если она приводится в каталогах); ***тип цоколя***; для некоторых типов ламп — ***положение тела накала*** или ***разрядного промежутка*** относительно цоколя. Сюда же можно отнести ***рабочее положение ламп***, так как некоторые их типы (как ламп накаливания, так и газоразрядных) допускают работу только в одном определенном положении — строго горизонтальном, вертикальном или в пределах некоторого угла. Необходимость соблюдения определенного положения лампы при работе всегда указывается в технической документации.

Важнейшим из эксплуатационных параметров ламп является срок службы. Строго говоря, понятие «срок службы» далеко не однознач-

но: имеются полный, средний, минимальный, полезный и другие сроки службы.

Полный или ***физический срок службы*** — это время от начала эксплуатации источника света до его выхода из строя. Поскольку эта величина неопределенная (одна лампа какого-то конкретного типа может выйти из строя через несколько часов, а другая лампа этого же типа — через несколько тысяч часов), этот параметр в документации никогда не указывается.

В российских ГОСТах на лампы накаливания указан ***средний срок службы*** при номинальном напряжении, то есть время работы достаточно большой группы ламп, в течение которого 50 % от их количества может выйти из строя. В соответствии с ГОСТ 2239 для нормальных осветительных ламп этот срок равен 1000 часам, причем средний спад светового потока группы ламп не должен превышать 30 %. Для других типов ламп средний срок службы устанавливается в технических условиях и может составлять от нескольких часов (некоторые типы ламп для оптических и светосигнальных приборов) до 5000 часов (кварцевые галогенные лампы большой мощности для инфракрасной сушки лакокрасочных покрытий).

Для люминесцентных ламп и других газоразрядных источников света в российских ГОСТах установлен ***полезный срок службы*** — среднее время работы ламп в номинальных условиях, в течение которого их эксплуатация экономически оправдана. Это время определяется тем, что в процессе работы ламп постепенно снижается их световой поток за счет «отравления» люминофоров парами ртути и вольфрама, потемнения стенок колбы и других факторов. Через какое-то время световой поток снижается настолько, что осветительная установка перестает обеспечивать необходимый (нормируемый) уровень освещенности, хотя лампы остаются работоспособными. Для отечественных люминесцентных ламп в соответствии с ГОСТ 23583 допустимый спад светового потока составляет 40 %, а полезный срок службы 12000 часов.

Минимальный срок службы — это время работы группы ламп до первого отказа, то есть до выхода из строя первой лампы из группы. Этот параметр устанавливается в технической документации некоторых особо надежных ламп специального назначения и встречается достаточно редко. Чаще встречается ***гарантированный срок службы***, определяемый временем, в течение которого вероятность отказа ламп не превышает установленного значения. Например, для отечественных люминесцентных ламп типа ЛБ8-6 установлен гарантированный срок службы 5000 часов при вероятности безотказной работы лампы в течение этого срока не ниже 0,95.

Кроме срока службы, к эксплуатационным параметрам относятся: ***устойчивость к внешним климатическим факторам*** (температура, давление и влажность окружающего воздуха); ***устойчивость к механическим воздействиям*** (удары, вибрации, линейные ускорения, звук); ***устойчивость к колебаниям напряжения питающей электросети***.

Следует сказать, что в иностранных каталогах источников света крайне редко указывается срок службы и практически никогда не указывается устойчивость к механическим воздействиям. У ламп накаливания общего назначения зарубежного производства реальный средний срок службы совпадает с требованиями ГОСТ 2239 (1000 часов); полезный срок службы импортных люминесцентных ламп, как правило, выше, чем у российских (15000 часов вместо 12000) и относится он к спаду светового потока не на 40, а на 30 %.

4.2. Тепловые источники света

К ***тепловым источникам света*** относятся все ***лампы накаливания***, в том числе ***галогенные*** и ***зеркальные***.

За 130 лет со времени появления первой лампы А. Н. Лодыгина с телом накала в виде угольного стержня лампы накаливания прошли несколько революционных этапов развития: снабжение ламп резьбовым цоколем (1879 год); использование вольфрама для тела накала (1909 год); наполнение ламп инертным газом и спирализация тела накала (1913 год); создание ламп с биспиральным телом накала и криптоновым наполнением (1936 год); создание ламп с вольфрамово-галогенным циклом (1959 год). Можно сказать, что к настоящему времени технические параметры ламп накаливания близки к теоретическим пределам, и ожидать какого-либо существенного прорыва здесь не приходится.

Сейчас в мире ежегодно производится более 4 миллиардов ламп накаливания примерно 5000 типоразмеров — значительно больше, чем всех газоразрядных источников света вместе взятых.

Чем же объясняется столь широкое распространение ламп накаливания, параметры которых значительно хуже, чем у лучших газоразрядных ламп? Например, световая отдача обычных осветительных ламп не превышает 15 *лм/Вт* при сроке службы 1000 часов, в то время как световая отдача последних разработок линейных люминесцентных ламп превысила 100 *лм/Вт* при сроке службы 18000 часов.

Главными причинами этого, безусловно, являются относительная ***дешевизна*** ламп и простота их включения. Для ламп накаливания не требуется использование какой-либо пускорегулирующей ап-

паратуры, как для всех без исключения газоразрядных ламп — они просто ввинчиваются или вставляются в патроны и включаются обыкновенными выключателями.

Другими важными достоинствами ламп накаливания являются: ***компактность***, позволяющая легко управлять распределением светового потока в пространстве; ***мгновенное включение*** — номинальный световой поток ламп устанавливается сразу же после подачи на них напряжения; практическая независимость параметров от температуры окружающей среды; достаточно высокая надежность; устойчивость к внешним механическим воздействиям; сплошной спектр излучения, обеспечивающий хорошую цветопередачу (как было сказано выше, общий индекс цветопередачи R_a для всех ламп накаливания равен 100).

Основные недостатки ламп накаливания: низкая световая отдача; относительно небольшой срок службы; сильная зависимость световых и эксплуатационных параметров от колебаний сетевого напряжения; большая доля теплового излучения в спектре ламп; большие броски тока в момент включения.

Чем же обусловлены эти достоинства и недостатки?

Свет ламп накаливания создается за счет нагрева до высокой температуры тела накала протекающим через него электрическим током. Законы теплового излучения очень сложны и исследовались несколькими поколениями физиков на примере реально не существующего «абсолютно черного тела» как наиболее простого излучателя. Значительный вклад в их изучение сделал немецкий физик Макс Планк, именно на основе законов теплового излучения создавший совершенно новую науку — ***квантовую физику***. Не вдаваясь в подробности открытых Планком законов, отметим моменты, необходимые для понимания особенности работы ламп накаливания:

1. Интенсивность излучения любого нагретого тела пропорциональна четвертой степени его температуры.

2. Спектр теплового излучения — сплошной и имеет вид, показанный на рис. 7.

3. Положение максимума интенсивности излучения однозначно определяется температурой нагретого тела и связано с ней простым соотношением:

$$\lambda_{max} = 2900/T,$$

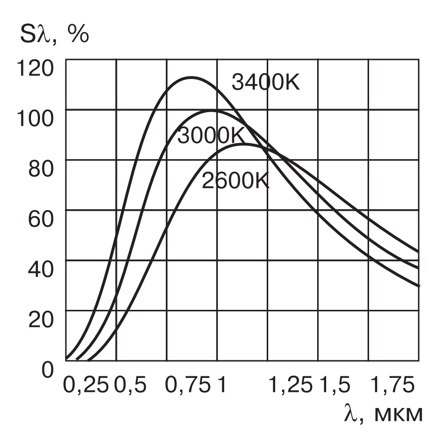


Рис. 7. Спектр излучения абсолютно черного тела

где λ_{max} — длина волны в области максимума излучения в микрометрах, а T — температура тела в кельвинах.

Из этих трех моментов следует — чем выше температура тела, тем интенсивнее, то есть ярче оно светит.

Видимый диапазон длин волн — от 380 до 760 *нм* (0,38 – 0,76 *мкм*). Очевидно, что для наибольшей эффективности излучения его максимум должен лежать внутри видимой части спектра. Из приведенной выше формулы легко можно найти, что это получается при температурах от 3800 до 7600 *К*. Но на Земле нет металлов, которые оставались бы твердыми при столь высоких температурах: температура плавления самого тугоплавкого металла — вольфрама — около 3600 *К*. Рассчитано, что световая отдача излучения вольфрама при его температуре плавления равна 53,5 *лм/Вт* — это тот теоретический предел световой отдачи, которую могли бы иметь лампы накаливания при полном отсутствии потерь и «жидком» теле накала.

Именно потому, что ***вольфрам*** — это самый тугоплавкий металл, нити накала всех современных ламп накаливания делают только из него. При этом очевидно: чем выше температура тела накала, тем более эффективной будет лампа, то есть тем выше будет ее световая отдача. Но, с другой стороны, чем выше температура, тем быстрее испаряется вольфрам, даже не переходя в расплавленное состояние, и тем меньше будет срок службы лампы. Поэтому конструкции ламп и параметры тела накала (его длина и диаметр) всегда выбираются в результате компромисса между двумя желаниями — увеличить эффективность (световую отдачу) и обеспечить требуемый срок службы. Из-за этого компромисса лампы работают фактически на пределе своих возможностей.

На рис. 8 показана зависимость основных параметров ламп от колебания напряжения относительно номинального. Из этого рисунка видно, что, повышая световую отдачу на несколько процентов за счет повышения напряжения, мы проигрываем в сроке службы гораздо больше. В первом приближении можно считать, что при увеличении напряжения на лампе на 1 % ток через лампу увеличится на 0,5 %, мощность — на 1,5 %, световой поток — на 4,7 %, световая отдача — на 3,1 %, а срок службы снизится на 13 %! Всего при пяти-

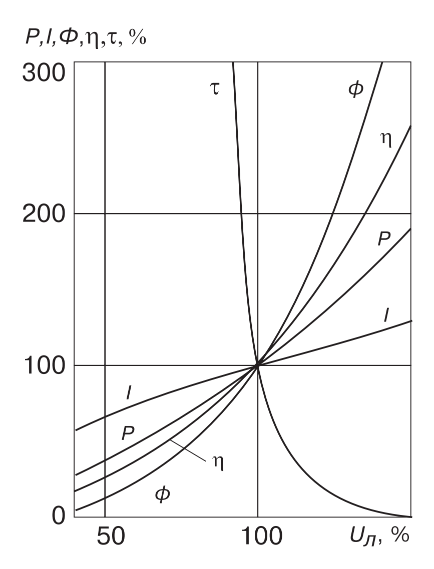


Рис. 8. Зависимость параметров ламп накаливания от напряжения

процентном повышении напряжения, что в наших сетях происходит довольно часто, срок службы ламп снижается вдвое.

Следует также отметить, что удельное сопротивление вольфрама, как и всех чистых металлов, растет с температурой и при температурах 2500 – 3200 *K* отличается от значений при комнатной температуре в 12 – 20 раз. Это вызывает резкие броски тока при включении — ток в момент включения в 12 – 20 раз превышает установившиеся значения. Длится такой бросок недолго — всего 0,1 – 0,2 секунды, но создает большие нагрузки на электрические сети. Именно из-за таких бросков тока выход ламп из строя почти всегда происходит в момент включения.

На рис. 9 показано устройство лампы накаливания. Хотя существует великое множество конструктивных исполнений ламп, принцип устройства всех их одинаков и хорошо виден на приведенном рисунке.

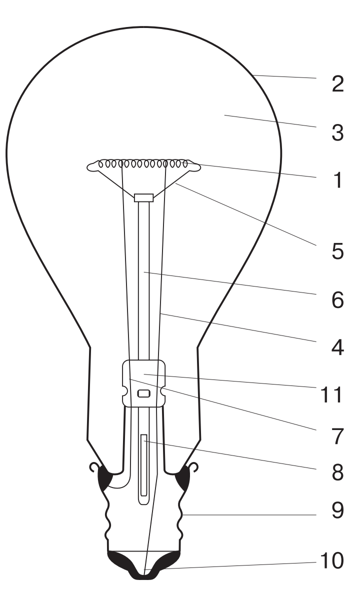


Рис. 9. Устройство лампы накаливания

«Сердцем» всех ламп служит тело накала 1. ***Тело накала*** — это тонкая проволока из самого тугоплавкого металла, известного в настоящее время — вольфрама. При прохождении по такой проволоке электрического тока расчетной величины она нагревается до температуры 2000 – 3200 *K* (примерно 1700 – 2900 ^{o}C) и начинает светиться. При таких высоких температурах на воздухе вольфрам соединяется с кислородом (как известно, в составе воздуха содержится 21 % кислорода) и, если бы нить работала на воздухе, она мгновенно бы окислилась и разрушилась. Поэтому тело накала помещается в герметично запаянную стеклянную или кварцевую колбу 2, из которой воздух удален полностью. Пространство без воздуха называется вакуумом (в переводе на русский — пустота). Однако в вакууме вольфрам при высоких температурах начинает испаряться, а испаряющиеся с нити атомы вольфрама оседают на стенках колбы, вызывая ее потемнение. Поэтому ***вакуумными*** делают лампы только небольшой мощности — до 25 *Вт*, у которых тело накала работает при сравнительно низких температурах (не выше 2500 *K*).

Для уменьшения испарения вольфрама колбы более мощных ламп после тщательной откачки наполняют инертным газом 3. Такое наполнение значительно снижает скорость испарения вольфрама, причем этот эффект проявляется тем сильнее, чем тяжелее наполня-

ющий газ. Лампы с колбой, наполненной инертным газом, называются ***газополными***.

Из шести существующих на Земле инертных газов (гелий, неон, аргон, криптон, ксенон и радон) для наполнения колб ламп накаливания используются три — аргон, криптон и ксенон. Добывают их из воздуха, в котором содержится 0,94 % аргона, 0,0011 % криптона и 0,000008 % ксенона. Очевидно, чем меньше содержится газа в воздухе, тем труднее его добывать и тем выше его стоимость. Поэтому более 95 % всех газополных ламп наполняется аргоном, а точнее — техническим аргоном (86 % аргона и 14 % азота), до давления 600 – 650 мм ртутного столба. Менее 5 % ламп делается с криптоновым наполнением и только некоторые кварцевые галогенные лампы наполняют ксеноном.

Наполнение колб инертным газом уменьшает скорость испарения вольфрама, но увеличивает тепловые потери от тела накала и поэтому требует подвода к лампе дополнительной мощности для того, чтобы нагреть тело накала до такой же температуры, которая была бы при отсутствии таких потерь. Количество тепла, отводимого через газ, прямо пропорционально длине тела накала. Для сокращения длины тела накала вольфрамовую нить свивают в ***спираль***, а в некоторых типах ламп (особенно с криптоновым наполнением) делают еще «спираль из спирали», то есть двойную спираль или ***биспираль*** (рис. 10).

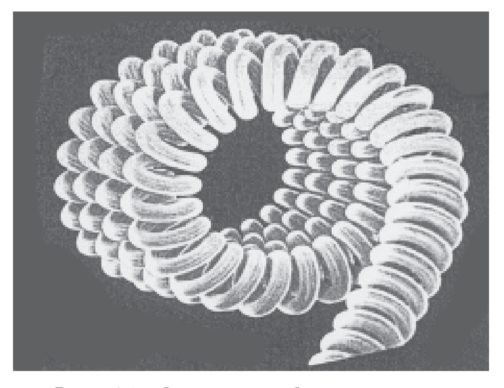


Рис. 10. Спираль и биспираль

Естественно, что тело накала в колбе должно быть закреплено, и к нему необходимо подвести электрический ток. Для подвода тока в лампе имеются ***электроды*** (4 на рис. 9), которые чаще всего делаются из никеля. Электроды выполняют функцию и основных крепящих элементов, поддерживающих тело накала. Дополнительно тело накала поддерживается еще специальными ***крючками*** или ***держателями*** 5, которые делаются из молибдена. Стеклянная ножка с вмонтированными в нее электродами и крючками называется ***тарелкой.*** На месте спая горловины колбы с тарелкой с помощью специальной мастики крепится цоколь 9. У обычных осветительных ламп цоколь делается резьбовым с наружным диамет-

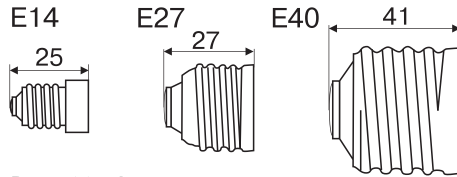


Рис. 11. Стандартные цоколи ламп накаливания

ром 14, 27 или 40 мм и специальной резьбой с крупным шагом (рис. 11). Такие цоколи называются соответственно E14, E27 и E40. К резьбовой части цоколя припаян один из электродов лампы, другой электрод припаян к центральному контакту цоколя (10 на рис. 9).

Для обеспечения герметичности ламп электроды обычно делаются из трех звеньев — внутреннего (никель), наружного (медь) и промежуточного, герметично впаянного в расплющенную часть тарелки, — ***лопатку*** 11. Наиболее ответственное — промежуточное — звено электродов чаще всего изготавливается из специально обработанной стальной проволоки с медным покрытием, называемой ***платинитом***. Сложность структуры промежуточных звеньев электродов обусловлена необходимостью обеспечения герметичности в широком диапазоне температур и несовпадением тепловых коэффициентов расширения стекла и металлов.

В последнее время очень большое распространение получили малогабаритные ***зеркальные*** лампы. От обычных осветительных ламп они отличаются только формой колбы, на часть которой нанесено отражающее (алюминиевое) покрытие. Особенно широко такие лампы используются в так называемых «точечных» поворотных и неповоротных светильниках, встраиваемых в подвесные потолки.

Несколько иначе устроены ***галогенные лампы накаливания***, хотя все основные элементы обычных ламп присутствуют и здесь. В этих лампах, появившихся в сентябре 1959 года в США и почти одновременно в СССР, для уменьшения испарения вольфрама и осветления стенок колбы используется ***вольфрамово-галогенный цикл***. В состав наполняющего газа вводится небольшое количество галогенов — соединений элементов седьмой группы таблицы Менделеева. К этим элементам относятся фтор, хлор, бром и йод. В первые годы после изобретения использовались только соединения йода, поэтому все галогенные лампы накаливания в популярной литературе до сих пор часто называют ***йодными***. В настоящее время чаще используют более технологичные соединения брома — бромистый метан CH_2Br_2 и бромистый метилен CH_3Br. При температурах от 300 до 1200 ^{o}C, но наиболее активно при 500 — 600 ^{o}C, эти вещества образуют с вольфрамом летучие соединения, которые при температуре выше 1600 ^{o}C разлагаются на вольфрам и галоген. Получается замкнутый цикл: на стенках колбы, куда оседают атомы вольфрама, происходит их взаимодействие с галогенами с образованием летучих соединений; при попадании на горячую спираль с температурой выше 1600 ^{o}C эти соединения разлагаются на вольфрам и галоген. Вольфрам остается на теле накала, а галоген снова входит в состав наполняющего газа, чтобы на стенках вновь соединиться с осевшими там атомами вольфрама. Благодаря такому циклу происходит очищение

стенок колбы от вольфрама и частичное возвращение вольфрама со стенок на тело накала.

Из сказанного ясно, что для осуществления вольфрамово-галогенного цикла необходимы два условия: температура тела накала должна быть не ниже 1600 ^{o}C, а температура стенок колбы — не ниже 300, а лучше всего 500 – 600 ^{o}C. Первое условие в лампах накаливания выполняется всегда, так как даже в самых маломощных лампах температура тела накала не менее 1700 ^{o}C. Для выполнения второго условия ученым и инженерам пришлось найти принципиально новые конструкторские и технологические решения.

Прежде всего пришлось значительно уменьшить габариты ламп. Первые галогенные лампы имели форму цилиндра с наружным диаметром 12 *мм* и длиной, зависящей от мощности лампы. Тело накала было сделано в виде спирали, расположенной строго по оси лампы (рис. 12). Так как лампа работает при температуре колбы 500 – 600 ^{o}C, а иногда и выше, пришлось заменить материал колбы — вместо стекла колбы галогенных ламп делают из более термостойкого ***кварца***. Малые габариты ламп позволили использовать для наполнения самый тяжелый и самый дорогой из инертных газов — ***ксенон***, давление которого в холодной лампе составляет 5 – 7, а в работающей — 10 – 12 атмосфер.



Рис. 12. Линейные галогенные лампы накаливания

Очищение колбы за счет вольфрамово-галогенного цикла и наполнение колбы тяжелым ксеноном под большим давлением позволили значительно повысить температуру тела накала и, тем самым, световую отдачу ламп при одновременном увеличении срока их службы. Если у нормальных осветительных ламп мощностью 500 *Вт* на напряжение 220 *В* световая отдача равна 15 *лм/Вт* при сроке службы 1000 часов, то у галогенной лампы такой же мощности эти параметры равны 19 *лм/Вт* и 1500 часов.

Сейчас в мире выпускаются сотни типов галогенных ламп накаливания мощностью от 3-х до 20000 *Вт*. Кроме линейной конструкции, показанной на рис. 12, разработаны и изготавливаются компактные или малогабаритные лампы (рис. 13). Принцип работы таких ламп не отличается от линейных; для поддержания вольфрамово-галогенного цикла необходимы те же два условия: температура тела накала не ниже 1600 ^{o}C и температура внутренней поверхности колбы не ниже 500 ^{o}C.



Рис. 13. Компактные галогенные лампы накаливания

Высокая температура на колбах галогенных ламп заставила отказаться от использования привычных резьбовых цоколей. Линейные

лампы цоколюются с двух сторон специальными торцевыми цоколями R7s, выдерживающими высокие температуры. Лампы вставляются в патроны, изготовленные чаще всего из керамики. Некоторыми иностранными фирмами выпускаются линейные лампы, помещенные во внешнюю вакуумную колбу с резьбовым цоколем (рис. 14). В малогабаритных лампах, как правило, в качестве цоколя используется сама колба с жестко фиксированными выводами из вольфрамовой проволоки (рис. 15). Автомобильные и самолетные галогенные лампы делаются со специальными цоколями.

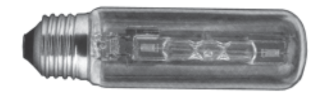


Рис. 14. Лампа во внешней колбе

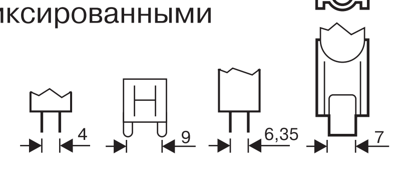


Рис. 15. Цоколи галогенных ламп накаливания

Несмотря на физическое отсутствие какого-либо цоколя у малогабаритных ламп, в каталогах и другой технической документации такое оформление внешних выводов называется «цоколем типа G...,GY...»; цифры после букв обозначают расстояния между выводами в мм (например, G 6,35). Линейные галогенные лампы накаливания выпускаются на номинальное напряжение 127 или 220 *В*, малогабаритные — в основном на низкое напряжение (6,3; 12; 24 и 27 *В*).

Малые габариты галогенных ламп позволяют формировать различные световые пучки с помощью отражателей достаточно малых размеров. Благодаря этому разработан обширный ассортимент зеркальных галогенных ламп, очень широко используемых в последние годы. Отражатель в таких лампах жестко соединен с колбой специальной высокотемпературной мастикой. Цоколь у них физически также отсутствует, элементами электрического соединения служат жесткие выводы ламп. Обозначения в каталогах «цоколь типа GU...,G...» показывают расстояния между ножками и некоторые отличительные признаки горловины отражателя (наличие или отсутствие «скоса» — смотри рис. 16.).

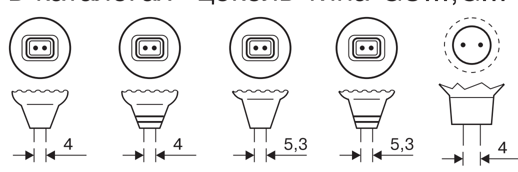


Рис. 16. Цоколи зеркальных галогенных ламп

Зеркальные галогенные лампы изготавливаются с отражателями диаметром 35, 51 или 63 *мм*. Отражатель может быть алюминиевым или стеклянным. Основными параметрами таких ламп являются осевая сила света и угол рассеяния, то есть угол, на границах которого сила света равна половине осевой. Наиболее типичные углы рассеяния — 8, 12, 20, 24, 38 и 60^{o}.

Особый интерес представляют лампы со ***стеклянным интерференционным*** отражателем, в популярной и рекламной литерату-

ре называемые «***лампами холодного света***». Отражатель в таких лампах хорошо отражает видимый свет и также хорошо пропускает инфракрасное (тепловое) излучение. Поскольку доля теплового излучения составляет около 90 % от мощности ламп, то при больших углах охвата количества тепла в световом пучке такой лампы действительно значительно меньше, чем у ламп с металлическим или стеклянным алюминированным отражателем. Однако при использовании таких ламп не следует забывать о том, что выходящее сквозь отражатель «назад» тепловое излучение никуда не исчезает и при установке ламп «холодного света» в небольшие по размерам светильники может нагревать их до недопустимо высоких температур.

Классификация и обозначение ламп накаливания

Лампы накаливания делятся на две большие группы: лампы общего назначения и специального назначения.



Лампы общего назначения — это те, которые используются в быту, для освещения административных и промышленных помещений, улиц и т.п. По объему выпуска — это самый массовый источник света практически во всех странах. По количеству типоразмеров лампы общего назначения составляют лишь небольшую долю в общей номенклатуре ламп накаливания.

Лампы общего назначения изготавливаются на напряжение 127 и 220 *В* (для местного освещения — на 12 или 36 *В*) мощностью от 15 до 1000 *Вт*. Все такие лампы снабжены резьбовыми цоколями E14, E27 или E40. С цоколями E14 выпускаются лампы мощностью до 60 *Вт*, с цоколями E40 мощностью от 300 *Вт* и более, с цоколем E27 — от 15 до 200 *Вт*.

Лампы мощностью 15 и 25 Вт делаются ***вакуумными***, большей мощности — ***газополными***.

Колбы большинства ламп общего назначения — каплевидные. Однако для установки в многоламповые люстры или в бытовые светильники различного назначения делают лампы со свечеобразной, пламяобразной, цилиндрической и другими формами колб (рис.17). Для ламп с криптоновым наполнением делают колбы грибовидной

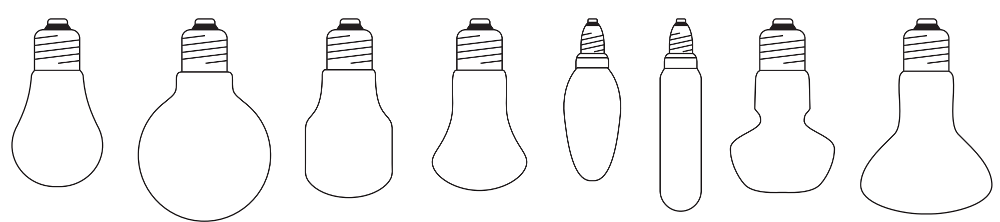


Рис. 17. Формы колб ламп накаливания

формы и уменьшенных размеров. Ряд мощностей таких ламп содержит всего 4 номинала: 40, 60, 75 и 100 *Вт*.

В обозначениях ламп общего назначения обязательно присутствуют номинальное напряжение и мощность. В России такие лампы выпускаются по ***Государственному стандарту*** ГОСТ 2239. В соответствии с этим стандартом на лампах указывается не номинальное напряжение, а диапазон рабочих напряжений (например, 215 – 225 *В*), при этом номинальным напряжением является среднее из указанных. В маркировке ламп присутствуют одна или две буквы, обозначающие тип лампы (***В*** — вакуумная со спиральным телом накала, ***Б*** — с аргоновым наполнением и биспиральным телом накала, ***БК*** — с криптоновым наполнением и биспиральным телом накала, ***МО*** — для местного освещения). После букв указывается диапазон рабочих напряжений в вольтах и через дефис — мощность в ваттах.



К лампам общего освещения можно отнести и зеркальные лампы в колбах специальной формы с отражателем на внутренней или наружной поверхности части колб, цоколями Е14, Е27 или Е40 (в зависимости от мощности ламп). В России в маркировке таких ламп присутствует буква З.

Номенклатура ***ламп специального назначения*** значительно шире, чем ламп общего назначения. К специальным относятся лампы для различных видов транспорта (***автомобильные***, ***самолетные***, ***железнодорожные***, ***судовые***, ***трамвайные***), для использования в ***оптических приборах***, ***прожекторные***, ***кинопроекционные***, ***миниатюрные***, ***сверхминиатюрные***, ***коммутаторные***, ***декоративные***, ***светоизмерительные*** и многие другие — более 4000 типономиналов. Большей частью такие лампы выпускаются не по Государственным, а по отраслевым стандартам или по техническим условиям предприятий-изготовителей. Типы цоколей, формы колб, конструкции тел накала, номинальные напряжения и мощности — самые разнообразные.

Галогенные лампы накаливания также делятся на две большие группы — линейные и малогабаритные (компактные).

Линейные лампы, как правило, имеют двухстороннюю цоколевку с торцевыми цоколями R7s. Лампы мощностью 2000 *Вт* и более часто делают без цоколей с гибкими проволочными выводами или плоскими контактами для зажима «под винт». Диапазон мощностей линейных ламп — от 100 до 20000 *Вт*; номинальное напряжение — 110, 127, 220 *В* (лампы зарубежного производства часто делают на 130 и 230 *В*). Линейные лампы российского производства маркируются буквами ***КГ*** или ***КИ*** (кварцевые галогенные или йодные) и цифрами, обозначающими номинальное напряжение и мощность. Иногда после мощнос-

ти через дефис ставится еще одна цифра, указывающая модификацию лампы. Например, КГ 220-1000-5 — кварцевая галогенная лампа мощностью 1000 *Вт* на напряжение 220 *В*, пятая модификация.

Компактные галогенные лампы накаливания на напряжение 220 *В* мощностью от 500 до 5000 *Вт* делаются для прожекторов, используемых при кино- и телевизионных съемках. Эти лампы имеют специальную конструкцию и различные типы специальных цоколей. В последние годы производство таких ламп постоянно сокращается, так как на смену им пришли разрядные металлогалогенные лампы с редкоземельными элементами, имеющие лучшие светотехнические параметры. В России компактные галогенные лампы накаливания на высокое напряжение не производились.

Как уже было сказано, малогабаритные лампы накаливания делаются на низкие напряжения (от 6 до 36 *В*); диапазон мощностей таких ламп — от 3 до 200 *Вт*.

В России в обозначении малогабаритных галогенных ламп присутствуют буквы ***КГМ*** или ***КГМН*** (кварцевая галогенная малогабаритная или миниатюрная), ***АКГ*** (автомобильная кварцевая галогенная), ***КГСМ*** (кварцевая галогенная самолетная малогабаритная), далее — цифры, указывающие номинальное напряжение, и через дефис — мощность. У автомобильных ламп с двумя телами накала («ближний» и «дальний» свет) указывается мощность каждого из них.

У ламп с отражателями в обозначении, кроме напряжения и мощности, должны указываться угол рассеяния и диаметр отражателя.

Наиболее широкий ассортимент ламп накаливания как общего, так и специального назначения, в том числе и галогенных, производится фирмами ***Osram*** (Германия), ***Philips*** (Голландия), ***General Electric*** (США).

Наилучшие качественные показатели галогенных ламп достигнуты фирмой ***BLV*** (Германия).

В России производство галогенных ламп накаливания осуществляется ***Саранским*** производственным объединением ***ЛИСМА***, ***Уфимским*** электроламповым заводом и Опытным заводом ***ВНИИ*** источников света (***г. Саранск***).

Линейные галогенные лампы, в основном, применяются в прожекторах для освещения открытых пространств, фасадов зданий, рекламных щитов и т.п. Малогабаритные галогенные лампы с отражателями или в светильниках используются для акцентирующего освещения музейных и выставочных экспонатов, торговых витрин, в настольных светильниках и т.п. Лампы без отражателей, кроме акцентирующих и «точечных» светильников, используются во всевозможных оптических и светосигнальных приборах.

Необходимо иметь в виду, что из-за специфики физико-химических процессов большинство линейных галогенных ламп может работать только в горизонтальном положении с максимальным углом наклона 4^{o}. При других положениях горения верхний конец ламп быстро темнеет и срок службы значительно сокращается. Малогабаритные галогенные лампы могут работать в любом положении.

Наконец, следует сказать, что галогенные лампы накаливания значительно (в 10 и более раз) дороже обычных, так как в них используются более дорогие материалы (кварц, ксенон), и, кроме того, технология их изготовления гораздо сложнее и требует исключительно высокой культуры производства. Поэтому применять кварцевые галогенные лампы следует только там, где это действительно необходимо, несмотря на то, что их параметры значительно превосходят параметры обычных ламп.

Несколько слов необходимо сказать о лампах в колбах из ***прессованного стекла*** с отражателем на внутренней поверхности (так называемых ***PAR-лампах***). В этих лампах совмещаются функции источника света и светильника. Как правило, лампы типа PAR предназначены для работы на напряжении 220 *В*, снабжены цоколем Е27 и могут вкручиваться в обычные патроны. Внутренний отражатель формирует требуемую кривую распределения силы света, поэтому применение какой-либо внешней оптики не требуется. Параметры таких ламп уступают параметрам малогабаритных ламп с отражателем, но, поскольку они могут включаться прямо в сеть 220 *В* без понижающего трансформатора, то спрос на них достаточно велик. Основная область применения зеркальных ламп в колбах из прессованного стекла — акцентирующее освещение витрин и торговых залов.

Значительно раньше ламп PAR появились автомобильные и самолетные ***лампы-фары***, также совмещающие в себе функции источников света и осветительных приборов. Лампы-фары изготавливаются в колбах из прессованного стекла с отражателем на наружной стороне колбы. Эти лампы предназначены для работы на низком напряжении (12 или 27 *В*) и снабжены специальными цоколями.

В таблицах 2, 3, 4 даны параметры некоторых типов ламп накаливания. Параметры отечественных и зарубежных ламп общего назначения различаются незначительно. Параметры галогенных ламп зарубежного производства несколько выше, чем российских. Например, срок службы некоторых типов низковольтных ГЛН фирмы ***BLV*** (Германия) достигает 10000 часов при световой отдаче 22 *лм/Вт*, таких же ламп фирмы ***Philips*** — 4000 часов, в то время как у аналогичных ламп российского производства — 2000 часов.

Таблица 2

Параметры ламп общего назначения

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Габариты, мм	
			H	D
Вакуумные	15	105	107	61
	25	220	107	61
Газополные	40	415	114	61
	60	715	114	61
	75	950	114	61
	100	1350	129	66
	150	2100	175	81
	200	2920	175	81
С криптоновым наполнением	40	460	90	46
	60	790	96	51
	100	1450	105	61

Таблица 3

Параметры линейных кварцевых галогенных ламп

Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, часов	Габариты, мм	
				L	D
110	5000	126000	2000	520	27
220	250	4000	1500	117	8
220	500	9500	2000	117	12
220	1000	22000	2000	189	12
220	2000	44000	2000	335	12
220	5000	110000	3000	990	20,5

Таблица 4

Параметры малогабаритных кварцевых галогенных ламп

Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, часов	Габариты, мм		Тип цоколя
				L	D	
3	0,9	11	50	25,3	4	Нет
12	20	400	50	24	4,15	Нет
12	20	350	2000	31	8	G4
24	100	2500	2000	44	11	G6,35
27	100	3200	15	50	12,1	Нет
220	150	2400	1500	67	17	G6,35
220	500	11000	250	75	23	G10

4.3. Газоразрядные источники света

К газоразрядным или просто ***разрядным*** источникам света относятся все ***люминесцентные лампы*** (в том числе компактные и

безэлектродные), ***металлогалогенные***, ***натриевые*** высокого и низкого давления, ***ксеноновые***, ***неоновые*** и другие.

Все разрядные лампы делятся на три группы: ***низкого***, ***высокого*** и ***сверхвысокого*** давления. Эти группы достаточно сильно различаются по физике протекающих в них процессов, параметрам, областям применения.

Чем же отличаются разрядные источники света от тепловых?

Если в тепловых источниках свет образуется за счет нагрева вольфрамовой проволоки до очень высоких температур, то в разрядных источниках свет возникает в результате электрического разряда между двумя электродами. Спектральный состав возникающего при разряде излучения определяется составом газа, в котором происходит разряд. Яркость свечения зависит не только от состава газа, но и от его давления и от величины тока разряда.

Несмотря на все многообразие разрядных источников света, есть два принципиальнейших момента, объединяющих все эти источники в одну группу. Расскажем об этих моментах подробнее.

Из школьного курса физики нам знаком закон Ома: напряжение на каком-либо устройстве, через которое протекает электрический ток, равно произведению тока на электрическое сопротивление этого устройства. Значит, с ростом тока будет расти и напряжение на этом устройстве. Этому закону подчиняются все электрические приборы — лампы накаливания, электромоторы, электрические печи и т.п. Все, кроме приборов с газовым разрядом. В отличие от всех остальных электрических устройств, напряжение на газоразрядном промежутке с ростом тока не увеличивается, а уменьшается.

На рис. 18 показана типичная зависимость напряжения от тока на газоразрядном промежутке. Такая зависимость называется ***вольт-амперной характеристикой***. Кроме «падающего» характера зависимости напряжения от тока, на этом рисунке видна еще одна особенность электрического разряда в газах: наличие некой «точки перегиба», после которой характеристика получает «падающий» вид. Прямая линия, параллельная оси X на рис. 18, — это напряжение электрической сети, питающей газовый разряд, например, привычные для нас 220 *В*. Мы видим, что «точка перегиба» лежит выше напряжения сети. Величина напряжения в этой точке зависит от очень многих факторов: расстояния между электродами; рода и давления газа, в котором происходит разряд; температуры электродов; нали-

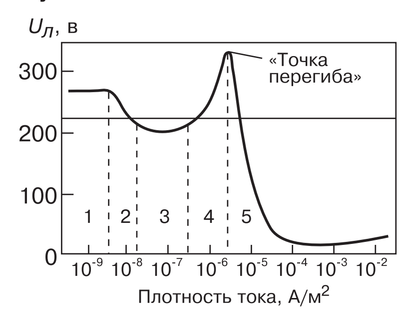


Рис. 18. Вольтамперная характеристика газового разряда

чия внешних ионизирующих излучений (радиоактивного, космического, рентгеновского и т.п.) и многого другого.

Во время горения лампы напряжение на ней значительно ниже сетевого. Но для того, чтобы разряд возник, к электродам должно быть приложено напряжение не ниже того, которое соответствует «точке перегиба». Это напряжение называется «***напряжением возникновения разряда***» или чаще «***напряжением зажигания***»

Падающий характер вольт-амперной характеристики означает, что если мы каким-либо образом не ограничим ток разряда, то он будет увеличиваться до тех пор, пока прибор не выйдет из строя. Это свойство, а также наличие напряжения зажигания, большего, чем напряжение сети, и являются теми самыми двумя определяющими факторами, которыми электрический разряд в газах отличается от всех остальных потребителей электрической энергии. Из-за этих факторов разрядные источники света не могут включаться в электрическую сеть непосредственно, как это мы видели на примере ламп накаливания. Для включения любого разрядного источника света необходимы дополнительные устройства, которые выполняют две обязательные функции: обеспечивают подачу напряжения не меньше напряжения зажигания и ограничивают ток разряда на требуемом уровне.

Рассмотрим некоторые наиболее распространенные типы разрядных источников света.

4.3.1. Люминесцентные лампы

Люминесцентные лампы — второй в мире по распространенности источник света, а в Японии они занимают даже первое место, обогнав лампы накаливания. Ежегодно в мире производится более одного миллиарда люминесцентных ламп.

Первые образцы люминесцентных ламп современного типа были показаны американской фирмой ***General Electric*** на Всемирной выставке в Нью-Йорке в 1938 году. За 65 лет существования они прочно вошли в нашу жизнь, и сейчас уже трудно представить какой-нибудь крупный магазин или офис, в котором не было бы ни одного светильника с люминесцентными лампами.

Люминесцентная лампа — это типичный разрядный источник света низкого давления, в котором разряд происходит в смеси паров ртути и инертного газа, чаще всего — аргона. Устройство лампы показано на рис. 19. ***Колба*** лампы — это всегда цилиндр 1 из стекла с наружным диаметром 38, 26, 16 или 12 *мм*. Цилиндр может быть прямым или изогнутым в виде кольца, буквы U или более сложной фигуры. В торцевые концы цилиндра герметично впаяны ***стеклянные ножки*** 2, на которых с внутренней стороны смонтированы электроды 3. Электроды по конструкции подобны биспиральному телу накала ламп

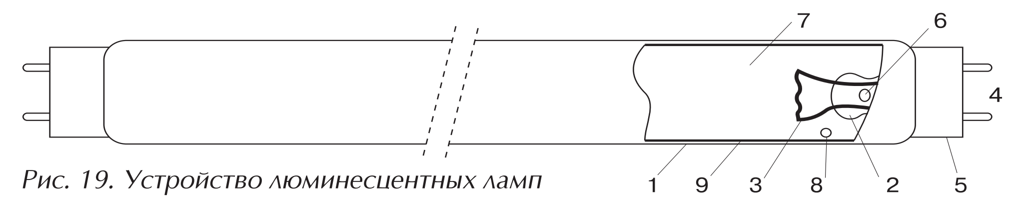


Рис. 19. Устройство люминесцентных ламп

накаливания и также делаются из вольфрамовой проволоки. В некоторых типах ламп электроды сделаны в виде триспирали, то есть спирали из биспирали. С наружной стороны электроды подпаяны к ***штырькам*** 4 ***цоколя*** 5. В прямых и U-образных лампах используется только два типа цоколей — G5 и G13 (цифры 5 и 13 указывают расстояние между штырьками в мм).

Как и в лампах накаливания, из колб люминесцентных ламп воздух тщательно откачивается через ***штенгель*** 6, впаянный в одну из ножек. После откачки объем колбы заполняется ***инертным газом*** 7 и в него вводится ***ртуть*** в виде небольшой капли 8 (масса ртути в одной лампе обычно около 30 *мг*) или в виде так называемой ***амальгамы***, то есть сплава ртути с висмутом, индием и другими металлами.

На биспиральные или триспиральные электроды ламп всегда наносится слой ***активирующего вещества*** — это обычно смесь окислов бария, стронция, кальция, иногда с небольшой добавкой тория.

Если к лампе приложено напряжение большее, чем напряжение зажигания, то в ней между электродами возникает электрический разряд, ток которого обязательно ограничивается какими-либо внешними элементами. Хотя колба наполнена инертным газом, в ней всегда присутствуют пары ртути, количество которых определяется температурой самой холодной точки колбы. Атомы ртути возбуждаются и ионизируются в разряде гораздо легче, чем атомы инертного газа, поэтому и ток через лампу, и ее свечение определяются именно ртутью.

В ртутных разрядах низкого давления доля видимого излучения не превышает 2 % от мощности разряда, а световая отдача ртутного разряда — всего 5 – 7 *лм/Вт*. Но более половины мощности, выделяемой в разряде, превращается в невидимое ***ультрафиолетовое излучение*** с длинами волн 254 и 185 *нм*. Из физики известно: чем короче длина волны излучения, тем большей энергией это излучение обладает. С помощью специальных веществ, называемых ***люминофорами***, можно превратить одно излучение в другое, причем, по закону сохранения энергии, «новое» излучение может быть только «менее энергичным», чем первичное. Поэтому ультрафиолетовое излучение можно превратить в видимое с помощью люминофоров, а видимое в ультрафиолетовое — нельзя.

Вся цилиндрическая часть колбы с внутренней стороны покрыта тонким слоем именно такого люминофора 9, который и превращает ультрафиолетовое излучение атомов ртути в видимое. В большинстве современных люминесцентных ламп в качестве люминофора используется галофосфат кальция с добавками сурьмы и марганца (как говорят специалисты, «активированный сурьмой и марганцем»). При облучении такого люминофора ультрафиолетовым излучением он начинает светиться белым светом разных оттенков. Спектр излучения люминофора — сплошной с двумя максимумами — около 480 и 580 *нм* (рис. 20). Первый максимум определяется наличием сурьмы, второй — марганца. Меняя соотношение этих веществ (активаторов), можно получить белый свет разных цветовых оттенков — от теплого до дневного. Так как люминофоры превращают в видимый свет более половины мощности разряда, то именно их свечение определяет светотехнические параметры ламп.

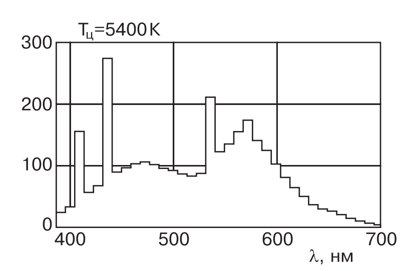


Рис. 20. Спектр излучения «стандартных» люминесцентных ламп

В 70-е годы минувшего века начали делать лампы не с одним люминофором, а с тремя, имеющими максимумы излучения в синей, зеленой и красной областях спектра (450, 540 и 610 *нм*). Эти люминофоры были созданы первоначально для кинескопов цветного телевидения, где с их помощью удалось получить вполне приемлемое воспроизведение цветов. Комбинация трех люминофоров позволила и в лампах добиться значительно лучшей цветопередачи при одновременном увеличении световой отдачи, чем при использовании галофосфата кальция. Однако новые люминофоры гораздо дороже старых, так как в них используются соединения редкоземельных элементов — европия, церия и тербия. Поэтому в большинстве люминесцентных ламп по-прежнему применяются люминофоры на основе галофосфата кальция.

Электроды в люминесцентных лампах выполняют функции источников и приемников электронов и ионов, за счет которых и протекает электрический ток через разрядный промежуток. Для того чтобы электроны начали переходить с электродов в разрядный промежуток (как говорят, для начала термоэмиссии электронов), электроды должны быть нагреты до температуры 1100 – 1200 ^{o}C. При такой температуре вольфрам светится очень слабым вишневым цветом, испарение его очень мало. Но для увеличения количества вылетающих электронов на электроды наносится слой активирующего вещества, которое значительно менее термостойко, чем вольфрам, и при работе

этот слой постепенно распыляется с электродов и оседает на стенках колбы. Обычно именно процесс распыления активирующего покрытия электродов определяет срок службы ламп.

Для достижения наибольшей эффективности разряда, то есть для наибольшего выхода ультрафиолетового излучения ртути, необходимо поддерживать определенную температуру колбы. Диаметр колбы выбирается именно из этого требования. Во всех лампах обеспечивается примерно одинаковая плотность тока — величина тока, деленная на площадь сечения колбы. Поэтому лампы разной мощности в колбах одного диаметра, как правило, работают при равных номинальных токах. Падение напряжения на лампе прямо пропорционально ее длине. А так как мощность равна произведению тока на напряжение, то при одинаковом диаметре колб и мощность ламп прямо пропорциональна их длине. У самых массовых ламп мощностью 36 (40) *Вт* длина равна 1210 *мм*, у ламп мощностью 18 (20) *Вт* — 604 *мм*.

Большая длина ламп постоянно заставляла искать пути ее уменьшения. Простое уменьшение длины и достижение нужных мощностей за счет увеличения тока разряда нерационально, так как при этом увеличивается температура колбы, что приводит к увеличению давления паров ртути и снижению световой отдачи ламп. Поэтому создатели ламп пытались уменьшить их габариты за счет изменения формы — длинную цилиндрическую колбу сгибали пополам (U-образные лампы) или в кольцо (кольцевые лампы). В СССР уже в 50-е годы делали U-образные лампы мощностью 30 *Вт* в колбе диаметром 26 *мм* и мощностью 8 *Вт* в колбе диаметром 14 *мм*.

Однако кардинально решить проблему уменьшения габаритов ламп удалось только в 80-е годы, когда начали использовать люминофоры, допускающие большие электрические нагрузки, что позволило значительно уменьшить диаметр колб. Колбы стали делать из стеклянных трубок с наружным диаметром 12 *мм* и многократно изгибать их, сокращая тем самым общую длину ламп. Появились так называемые ***компактные люминесцентные лампы***. По принципу работы и внутреннему устройству компактные лампы не отличаются от обычных линейных ламп.

В середине 90-х годов на мировом рынке появилось новое поколение люминесцентных ламп, в рекламной и технической литературе называемое «***серией Т5***» (в Германии — Т16). У этих ламп наружный диаметр колбы уменьшен до 16 *мм* (или 5/8 дюйма, отсюда и название Т5). По принципу работы они также не отличаются от обычных линейных ламп. В конструкцию ламп внесено одно очень важное изменение — люминофор с внутренней стороны покрыт тонкой защитной пленкой, прозрачной и для ультрафиолетового, и для види-

мого излучения. Пленка защищает люминофор от попадания на него частиц ртути, активирующего покрытия и вольфрама с электродов, благодаря чему исключается «отравление» люминофора и обеспечивается высокая стабильность светового потока в течение срока службы. Изменены также состав наполняющего газа и конструкция электродов, что сделало невозможной работу таких ламп в старых схемах включения. Кроме того — впервые с 1938 года — изменены длины ламп таким образом, чтобы размеры светильников с ними соответствовали размерам стандартных модулей очень модных сейчас подвесных потолков.

Люминесцентные лампы, особенно последнего поколения в колбах диаметром 16 *мм*, значительно превосходят лампы накаливания по световой отдаче и сроку службы. Достигнутые сегодня значения этих параметров равны 104 *лм/Вт* и 40000 часов.

Однако люминесцентные лампы имеют и множество недостатков, которые необходимо знать и учитывать при выборе источников света:

1. Большие габариты ламп часто не позволяют перераспределять световой поток нужным образом.

2. В отличие от ламп накаливания, световой поток люминесцентных ламп сильно зависит от окружающей температуры (рис. 21).

3. В лампах содержится ртуть — очень ядовитый металл, что делает их экологически опасными.

4. Световой поток ламп устанавливается не сразу после включения, а спустя некоторое время, зависящее от конструкции светильника, окружающей температуры и самих ламп. У некоторых типов ламп, в которые ртуть вводится в виде амальгамы, это время может достигать 10 – 15 минут.

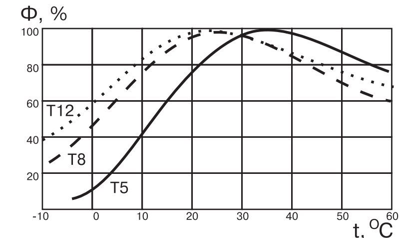


Рис. 21. Зависимость светового потока люминесцентных ламп от температуры

5. Глубина пульсаций светового потока значительно выше, чем у ламп накаливания, особенно у ламп с редкоземельными люминофорами. Это затрудняет использование ламп во многих производственных помещениях и, кроме того, отрицательно сказывается на самочувствии людей, работающих при таком освещении.

6. Как было сказано выше, люминесцентные лампы, как и все газоразрядные приборы, требуют для включения в сеть использования дополнительных устройств.

На рис. 22 показана самая простая и распространенная схема включения люминесцентных ламп — стартерно-дроссельная. Для ограничения тока через лампу на требуемом уровне используется дрос-

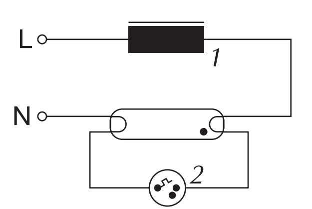
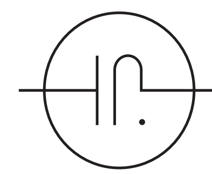


Рис. 22. Схема включения люминесцентных ламп

сель 1. Параллельно лампе и последовательно с обоими ее электродами включен стартер 2. Стартер — это тоже газоразрядный прибор, который должен удовлетворять одному требованию: напряжение зажигания разряда в нем должно быть ниже напряжения сети, но выше напряжения горения лампы. Один из контактов в стартере делается в виде дужки из биметаллической ленты, то есть из ленты, полученной путем жесткого соединения двух металлов с разными тепловыми коэффициентами расширения (рис. 23).


Рис. 23. Устройство стартера

При подаче напряжения на такую схему в стартере возникает разряд, и ток идет по цепи: дроссель — один электрод лампы — стартер — другой электрод лампы. Величина этого тока ограничена дросселем. Ток нагревает электроды лампы и стартера, биметаллический электрод стартера начинает распрямляться и в какой-то момент замыкается с другим электродом. После замыкания электроды стартера начинают остывать и через некоторое время размыкаются. В момент размыкания на дросселе образуется большой импульс напряжения. Электроды лампы к этому времени успевают нагреться до температуры, достаточной для эмиссии электронов из них. Если импульс напряжения на дросселе наложится на сетевое напряжение в нужный момент («совпадет по фазе»), то сумма напряжений сети и дросселя может оказаться больше напряжения зажигания лампы с прогретыми электродами, и лампа загорится. Так как вероятность этого достаточно мала, лампа почти никогда не загорается с первой попытки — всем хорошо известно мигание лампы при включении. Эти мигания неприятны и являются еще одним недостатком люминесцентных ламп. Стартер при миганиях создает заметные радиопомехи, поэтому параллельно ему включается ***помехоподавляющий конденсатор*** (конструктивно стартер и конденсатор объединены в одном корпусе).

Дроссель не только обеспечивает зажигание ламп, но и ограничивает ток через них в рабочем режиме. В дросселе теряется определенная мощность, не производя никакого положительного эффекта, то есть дроссель является как бы лишней нагрузкой — ***балластом***. Величина балластной мощности зависит от качества дросселя и протекающего по нему тока. По уровню потерь мощности в странах Европейского Союза, США и Канаде дроссели делятся на три класса: D — с обычными, C — с пониженными, B — с особо низкими потерями. В лучших дросселях для ламп мощностью 36 (40) *Вт* теряется

около 6 ватт (примерно 15 % мощности лампы); у маломощных ламп (4-11 *Вт*) потери мощности в дросселях могут быть равны мощности самих ламп. Поэтому световая отдача ламп в реальных светильниках всегда ниже той, которая указывается в документации для «голых» ламп.

Таблица 5

Потери мощности в дросселях

Класс дросселя	Потери мощности, Вт		
	С лампой 18 Вт	С лампой 36 Вт	С лампой 58 Вт
D	12	10	14
C	10	9	12
B2	8	7	9
B1	6	6	8

Дроссели создают еще один неприятный момент — ***сдвиг фаз*** между током и напряжением. Напряжение в электросетях имеет синусоидальную форму. Если в лампах накаливания ток всегда совпадает по фазе с напряжением и точно повторяет его форму (рис. 24), то в любом дросселе ток отстает от напряжения на какую-то долю периода, которая измеряется в градусах. Если полный период равен 360^o, то «чистый» дроссель вызывает отставание тока от напряжения ровно на четверть периода или на 90^o. В совокупности с лампой этот «сдвиг по фазе» всегда меньше 90^o и зависит от качества самого дросселя. На этикетках дросселей во всех странах указывается не сам угол, на который ток отстает от напряжения при включении дросселя с лампой соответствующей мощности, а косинус этого угла — cos φ, называемый также «***коэффициентом мощности***». Наглядно пояснить смысл и значение cos φ можно следующим примером. Представим себе, что ток и напряжение — это пара лошадей, тянущих одну повозку. Если обе лошади тянут повозку в одну сторону, иначе говоря, между ними нет «сдвига по фазе», то эффект от этой пары будет наибольшим. Но если одна из лошадей вздумает изменить направление движения, то результат будет тем хуже, чем больше будет угол, под которым потянет взбрыкнувшая лошадь, то есть чем меньше будет косинус угла между направлениями тяги двух лошадей.

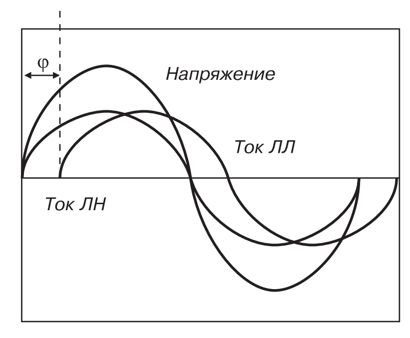


Рис. 24. Форма тока в лампах накаливания и люминесцентных лампах

Если сдвига по фазе между током и напряжением нет, то мощность, потребляемая от сети, равна произведению тока на напряже-

ние. Но если этот сдвиг есть, то мощность складывается из двух составляющих — активной и реактивной. Активная мощность — это та, которая производит полезную работу (в нашем случае — генерирует свет). Она будет определяться произведением уже трех величин — тока, напряжения и косинуса угла, на который ток отстает от напряжения:

$$P = U\, I \cos \varphi\, .$$

Интересно отметить, что счетчики электроэнергии учитывают только активную мощность. Поэтому при любом сдвиге фаз мы будем платить только за потребляемую активную энергию (произведение активной мощности на время). Но токовая нагрузка на провода будет меняться при этом обратно пропорционально cos φ :

$$I = P \,/\, U \cos \varphi\, .$$

Кроме нагрузки на провода, низкое значение cos φ увеличивает нагрузку трансформаторных подстанций и, в конечном итоге, электростанций. Поэтому во всех странах для всех крупных потребителей электроэнергии величина cos φ жестко нормируется.

Чтобы увеличить cos φ, производится его ***компенсация***. Для этого в светильниках с люминесцентными и другими разрядными лампами включается еще один элемент — ***компенсирующий конденсатор***. Схемы включения такого конденсатора могут быть разными; все их варианты показаны на рис. 25. Чаще всего используется схема параллельной компенсации (а), позволяющая поднять значения cos φ до 0,85.

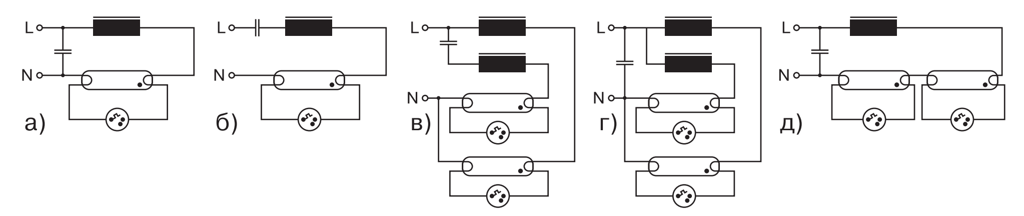


Рис. 25. Схемы компенсации коэффициента мошности

Следует назвать еще одно неприятное явление, связанное с дросселями, — все дроссели при работе на частоте 50 *Гц* создают гудящий звук той или иной интенсивности. По уровню производимого шума дроссели делятся на четыре класса: с нормальным, пониженным, очень низким и особо низким уровнем шума (в соответствии с ГОСТ 19680 они маркируются буквами Н, П, С и А).

В литературе дроссели часто называют «***пускорегулирующими аппаратами***» (ПРА). Это абсолютно неверное название, так как из сказанного выше ясно, что дроссель сам по себе не может обеспечить ни «пуск» ламп, ни их регулирование. Для зажигания ламп не-

обходимо наличие не только дросселя, но и стартера, а регулирование светового потока — это очень сложная техническая проблема, которую удалось решить только в последние годы.

Так как одним из условий работы стартерно-дроссельной схемы включения люминесцентных ламп является то, что напряжение зажигания стартера должно быть выше, чем напряжение горения лампы, то после зажигания лампы стартер как бы выключается из работы, и ток через него не идет. Следовательно, не идет и ток прогрева электродов лампы, а для нагрева электродов и обеспечения достаточной эмиссии электронов из них хватает тока разряда нормально работающей лампы. Если же мы начнем регулировать световой поток лампы уменьшением тока разряда, то этого тока не хватит для разогрева электродов до нужной температуры, разряд делается неустойчивым, и лампа гаснет. Если мы хотим регулировать световой поток ламп, то необходимо каким-либо образом обеспечить нагрев электродов до требуемой температуры. Именно поэтому долгое время считалось, что люминесцентные лампы вообще не поддаются регулированию.

Многие недостатки люминесцентных ламп и дросселей устраняются при использовании ***электронных высокочастотных аппаратов включения***.

В последние годы такие аппараты стали уже достаточно привычными: в странах Европейского Союза около половины всех светильников с люминесцентными лампами делается с электронными схемами включения (в Швеции и Австрии даже больше половины). К сожалению, в нашей стране такие аппараты используются еще недостаточно широко.

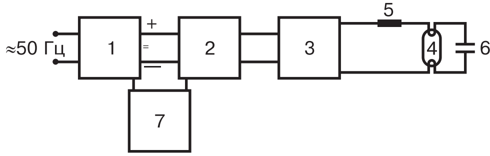


Рис. 26. Блок-схема электронного аппарата включения

На рис. 26 изображена упрощенная блок-схема электронного аппарата включения ламп. Аппарат содержит два обязательных узла — ***выпрямитель сетевого напряжения*** 1 и ***преобразователь*** выпрямленного напряжения в высокочастотное переменное 2. Напряжение с выхода преобразователя через ***усилитель мощности*** 3 или без него подается на лампу 4, включенную, как и в стандартных стартерно-дроссельных схемах, через ***дроссель*** 5. Так как частота напряжения на выходе преобразователя высокая (20-40 *кГц*), то размеры и масса дросселя гораздо меньше, чем необходимые для работы ламп на частоте 50 *Гц*. Вместо стартера параллельно лампе обычно включается конденсатор 6. Дроссель 5 и конденсатор 6 образуют последовательный резонансный контур. Из физики известно, что при совпадении частоты

резонанса цепочки из последовательно включенных дросселя и конденсатора с частотой подаваемого на нее напряжения суммарное сопротивление такой цепочки равно нулю. Ток через нее и напряжение на каждом из элементов схемы увеличиваются до бесконечности. Реально в электронных аппаратах включения частота напряжения на выходе преобразователя 2 близка к резонансной частоте цепочки из дросселя 5 и конденсатора 6 (но никогда не равна ей!). Поэтому при включении аппарата через электроды лампы протекает ток, достаточный для их разогрева до необходимой температуры, а на конденсаторе 6 создается напряжение, необходимое для возникновения разряда в лампе с подогретыми электродами. После зажигания лампы напряжение на ней падает до напряжения горения, а частота напряжения преобразователя автоматически изменяется так, чтобы через лампу протекал ток заданной величины.

Кроме названных узлов, в большинстве современных аппаратов имеется еще ***блок управления*** 7. Он выполняет две функции: ***стабилизацию тока лампы*** при колебаниях сетевого напряжения и ***коррекцию коэффициента мощности***. Коэффициент мощности, обычно обозначаемый греческой буквой ***λ,*** — это отношение мощности, потребляемой лампой вместе с аппаратом, к произведению тока и напряжения: $\lambda = P/U\,I$. При синусоидальной форме тока и напряжения коэффициент мощности — это тот самый cos φ, о котором мы говорили при рассмотрении стартерно-дроссельной схемы включения. Но при питании ламп через электронные аппараты форма тока искажается (как говорят, «в токе появляются высшие гармоники») и коэффициент мощности уже не совпадает с cos φ. У лучших современных аппаратов коэффициент мощности близок к 1 (0,95 – 0,99). Функции исправления формы потребляемого тока («подавление высших гармоник») обычно выполняет входной фильтр в выпрямителе 1.

В некоторых аппаратах блок управления 7 выполняет еще одну функцию — обеспечивает ***регулирование светового потока ламп***, чаще всего за счет изменения частоты напряжения преобразователя 2. Строго говоря, только такие аппараты и могут называться пускорегулирующими, так как только они обеспечивают и пуск ламп, и регулирование их светового потока.

Принципиальное отличие электронных схем включения люминесцентных ламп от стартерно-дроссельных заключается в том, что лампы в таких схемах питаются током высокой частоты, обычно 20 – 40 *кГц*, вместо 50 *Гц*. ***Высокочастотное питание ламп*** дает следующие положительные результаты:

1. Из-за особенностей высокочастотного разряда увеличивается световая отдача ламп. Это увеличение тем больше, чем короче лампа: у ламп мощностью 36 (40) *Вт* световая отдача возрастает при-

мерно на 10 %, у ламп мощностью 18 (20) *Вт* — на 15 %, у ламп мощностью 4 *Вт* — на 40 %.

2. Глубина пульсаций светового потока с частотой 100 Гц уменьшается примерно до 5 %.

3. Исключаются звуковые помехи, создаваемые дросселями.

4. Исключается мигание ламп при включении.

5. Исключается необходимость компенсации cos φ.

6. За счет исключения миганий при включении и точного прогрева электродов повышается срок службы ламп (до полутора раз).

7. Появилась возможность регулирования светового потока ламп.

8. Электронные аппараты значительно легче, чем дроссели и компенсирующие конденсаторы.

Таким образом, электронные аппараты включения устраняют большинство недостатков люминесцентных ламп со стартерно-дроссельными схемами включения. Но эти аппараты имеют и свой недостаток, препятствующий их повсеместному внедрению: ***цена электронных аппаратов*** во много раз выше, чем дросселей, стартеров и компенсирующих конденсаторов, вместе взятых. Но, тем не менее, как уже было сказано, в странах Европейского Союза доля светильников с электронными аппаратами приближается к 50 % всех светильников с люминесцентными лампами.

Необходимо отметить, что люминесцентные лампы нового поколения в колбах диаметром 16 *мм* принципиально могут работать только с электронными аппаратами. Это обстоятельство дает дополнительные преимущества светильникам с такими лампами.

Поиск компромисса между очевидными преимуществами люминесцентных ламп перед лампами накаливания и консерватизмом наших привычек привел в начале 80-х годов минувшего века к появлению таких люминесцентных ламп, которые могли бы вкручиваться в обыкновенные патроны как лампы накаливания. Дроссель и стартер в таких лампах размещались в специальном «адаптере» с цоколем Е27, а колба лампы многократно изгибалась для максимального уменьшения габаритов и покрывалась сверху декоративным колпаком, обеспечивающим также и защиту ламп от поломок при установке в патрон. Такие лампы мощностью 13 и 18 *Вт* выпускались крупнейшими фирмами ***Osram*** и ***Philips***, а позже и другими, но широкого распространения не получили: масса их была около 400 граммов, что практически исключало возможность их применения в настольных, настенных и подвесных многоламповых светильниках.

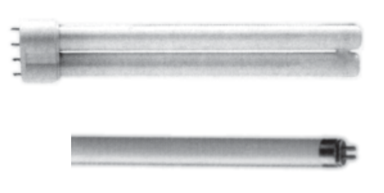
Положение коренным образом изменилось с появлением электронных аппаратов включения и компактных люминесцентных ламп. Массу и габариты ламп удалось уменьшить настолько, что люминесцентные лампы с электронными аппаратами и резьбовыми цоколя-



Рис. 27. Формы компактных люминесцентных ламп

ми Е27 и Е14 стали вполне конкурентоспособными изделиями. Сейчас в мире ежегодно выпускается более 300 миллионов таких ламп, и производство их непрерывно растет, особенно в Китае и странах Юго-Восточной Азии. Постоянно расширяется и номенклатура таких ламп. Диапазон мощностей современных компактных люминесцентных ламп, объединенных («***интегрированных***») с электронными аппаратами и оснащенных цоколями Е27 или Е14, — от 3 до 120 *Вт*; лампы выпускаются с различной цветностью излучения, разной конфигурации, с декоративными внешними колбами, с отражателями и другие (рис. 27).

Классификация и обозначение люминесцентных ламп



Все люминесцентные лампы можно разделить на две большие группы: линейные и компактные. Небольшой ассортимент кольцевых и U-образных ламп можно отнести к линейным, так как они делаются в колбах таких же диаметров и имеют близкие параметры.



Линейные лампы массового применения выпускаются в колбах диаметром 38, 26 и 16 *мм* (иностранное обозначение — Т12, Т8 и Т5, то есть 12/8, 8/8 и 5/8 дюйма). Немецкая фирма ***Osram*** делает еще лампы Т2 диаметром около 7 *мм*, но эти лампы применяются пока только в сканерах и

другой репрографической аппаратуре, а не для общего освещения. В последние годы за рубежом выпуск ламп в колбах диаметром 38 *мм* практически прекращен. Стандартный ряд мощностей линейных ламп не велик: 4, 6, 8, 13, 15, 18, 20, 30, 36, 40, 58, 65 и 80 *Вт*. В абсолютном большинстве современных светильников используются лампы только трех номиналов мощности: 18, 36 и 58 *Вт*. В России еще продолжается выпуск ламп мощностью 20, 40, 65 и 80 *Вт* в колбах диаметром 38 *мм*.

Как уже было сказано, лампы разной мощности различаются длиной колб — от 136 до 1514 *мм* (с цоколями).

В отличие от ламп накаливания, на люминесцентных лампах никогда не указывается напряжение, на которое они должны включаться, так как в зависимости от применяемой схемы включения одна и та же лампа может работать при самых разных напряжениях — как по величине (от нескольких вольт до сотен вольт), так и по роду тока (переменный или постоянный).

Лампы каждой мощности выпускаются с различной цветностью излучения. В России по ГОСТ 6825 установлено пять цветностей белого света: тепло-белый, белый, естественный, холодно-белый и дневной, обозначаемые буквами ТБ, Б, Е, ХБ и Д. Кроме белых ламп разной цветности, производятся цветные люминесцентные лампы — красные, желтые, зеленые, голубые и синие (К, Ж, З, Г и С).

Цветность излучения ламп приблизительно может быть охарактеризована цветовой температурой $T_{цв}$. Тепло-белой цветности соответствует $T_{цв}$ = 2700 – 3000 *К*; белой — $T_{цв}$ = 3500 *К*; холодно-белой — $T_{цв}$ = 4200 *К*; естественной — $T_{цв}$ = 5000 *К*; дневной — $T_{цв}$ = 6000 – 6500 *К*.

В маркировке ламп зарубежного производства какого-либо единства нет, каждая фирма маркирует по-своему. Так, Philips все линейные лампы обозначает TL-D, Osram — Lumilux, General Electric — F. После этих букв указывается мощность ламп (18W, 36W, 58W).

По ГОСТ 6825 в маркировке ламп не предусмотрено указание индекса цветопередачи. В отличие от этого, в маркировке всех зарубежных ламп с хорошей и отличной цветопередачей после мощности (через дробь) ставится цифра, характеризующая общий индекс цветопередачи R_a. Если R_a = 90, то пишется цифра 9, при $80 \le R_a < 90$ — цифра 8. У ламп с удовлетворительной цветопередачей (R_a = 50 – 70) в маркировке ставится двузначное число, обозначающее код цветности. На стр. 110 дана таблица 25 с расшифровкой цифровых обозначений цветовой температуры и общего индекса цветопередачи люминесцентных ламп ведущих зарубежных фирм — Philips и Osram.

Ведущие зарубежные фирмы часто используют в названиях ламп слова, носящие явно рекламный характер: De Lux, Super, Super de Lux и т.п.

Учитывая большой разнобой в обозначении ламп, часто вводящий потребителей в заблуждение, Международная комиссия по освещению (МКО) разработала и рекомендовала всем странам для использования единую универсальную систему обозначений источников света ILCOS. В соответствии с этой системой все линейные люминесцентные лампы, в том числе и серии T5, обозначаются буквами FD, кольцевые — FC, далее указывается мощность ламп, общий индекс цветопередачи и цветовая температура.

Серия ламп T5 с диаметром колбы 16 *мм* выпускается в двух вариантах — «лампы с максимальной световой отдачей» (фирменное обозначение у Osram — FH , у Philips — HE) и «лампы с максимальным световым потоком» (соответственно FQ и HO). Оба варианта содержат по четыре номинала мощности: первый — 14, 21, 28 и 35 *Вт*, второй — 24, 39, 54 и 80 *Вт*. В лампах мощностью 28 и 35 *Вт* достигнута рекордная для люминесцентных ламп световая отдача — 104 *лм/Вт*. Все лампы серии T5 могут работать только с электронными аппаратами. Лампы в колбах диаметром 26 и 38 *мм* (T8 и T12) снабжены цоколями G13, диаметром 16 *мм* — G5.

Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), в свою очередь, делятся также на две группы: с внешним аппаратом включения и со встроенным («интегрированным») аппаратом включения.

Лампы первой группы делаются мощностью от 5 до 55 *Вт*. Цилиндрическая колба ламп может быть изогнута один, два, три и даже четыре раза. В литературе такие лампы обычно называются «двух-, четырех-, шести- и восьмиканальными», что в принципе неверно, так как у всех таких ламп разрядный канал только один. Цоколи у всех ламп этой группы — специальные с двумя или четырьмя внешними штырьками. В двухштырьковые цоколи встроены стартеры, и для включения ламп с такими цоколями нужен только дроссель соответствующего типа. С электронными аппаратами такие лампы работать не могут, так как встроенные стартеры и помехоподавляющие конденсаторы мешают работе электронных схем. Лампы с четырехштырьковыми цоколями могут включаться как с обычными дросселями и внешними стартерами, так и с электронными аппаратами (некоторые типы ламп большой мощности могут работать только с электронными аппаратами). Насчитывается около 20 типов цоколей (рис. 28 а, б).

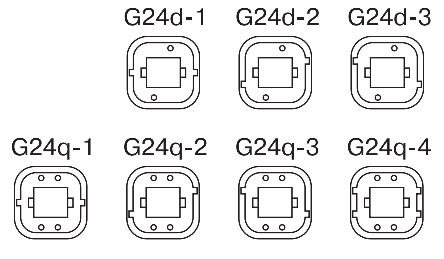


Рис. 28 а. Цоколи компактных люминесцентных ламп

В России компактные лампы обозначаются буквами КЛ (компактная люминесцентная) или КЛУ (компактная люминесцентная универсаль-

ная, то есть способная работать как с обычными дросселями, так и с электронными аппаратами). Далее в обозначении указывается мощность лампы и цветность излучения.

Все компактные лампы делаются с использованием узкополосных редкоземельных люминофоров, обеспечивающих хорошую цветопередачу, поэтому в маркировке российских ламп присутствует буква Ц. Например, КЛ11/ТБЦ — компактная люминесцентная лампа со встроенным стартером, мощностью 11 *Вт*, теплобелой цветности, с улучшенной цветопередачей, допускающая включение только с внешним дросселем; КЛУ9/БЦ — компактная лампа с четырехштырьковым цоколем мощностью 9 *Вт*, белой цветности, с улучшенной цветопередачей, допускающая включение как с дросселем и стартером, так и с электронным высокочастотным аппаратом.

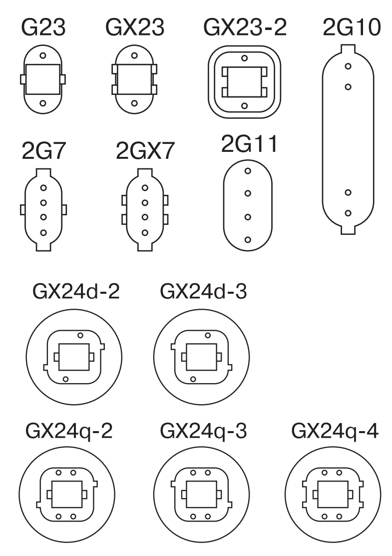


Рис. 28 б. Цоколи компактных люминесцентных ламп

В России выпускаются КЛЛ только с «единожды» изогнутой трубкой (два линейных светящихся участка) мощностью от 5 до 36 *Вт* с двухштырьковыми цоколями G23 со встроенным стартером или с четырехштырьковыми цоколями 2G7 (мощностью 5, 7, 9 и 11 *Вт*) или 2G11 (18, 24 и 36 *Вт*). В последние годы Опытный завод ВНИИИС в г. Саранске начал делать лампы со встроенным электронным аппаратом включения и цоколем Е27 с четырьмя и шестью линейными участками.

Ассортимент ламп зарубежного производства гораздо шире. Ведущие европейские (Osram, Philips), американские (General Electric, Sylvania) и китайские фирмы делают лампы с дважды-, трижды- и четырежды изогнутыми трубками (4, 6 и 8 светящихся участков), плоские типа 2D, спиральные и др. Фактически каждый типономинал ламп имеет свой особый цоколь, исключающий возможность включения ламп какой-либо одной мощности в арматуру, предназначенную для ламп другой мощности.

Как и для линейных, для компактных ламп каждая фирма имеет свою систему обозначений, затрудняющую ориентировку в ламповом мире и часто ставящую потребителей в тупик при решении вопроса о взаимозаменяемости ламп разных фирм. Например, лампы с цоколем G23 Philips называет PL-S, Osram — Dulux S, Sylvania — Lynx-S, General Electric — F...X. После буквенных обозначений, также как и у

линейных ламп, указываются мощность, общий индекс цветопередачи и цветовая температура.

Компактные лампы второй группы (со встроенным аппаратом включения) появились на мировом рынке в 1981 году как прямая альтернатива стандартным лампам накаливания. Эти лампы, как сказано выше, были очень тяжелыми — около 400 граммов — и широкого применения не нашли. Положение коренным образом изменилось в 1986 году, когда Philips, Osram, General Electric одновременно начали промышленный выпуск КЛЛ со встроенными электронными аппаратами включения и цоколями Е14 и Е27. Лампы имеют массу не более 100 граммов; размерами, а часто и формой напоминают привычные лампы накаливания; цветность излучения, как правило, тепло-белая, что также близко к лампам накаливания. Началась широкая рекламная кампания, для чего в Германии фирма Osram какое-то время даже раздавала лампы бесплатно.

Рекламные акции сделали свое дело, и спрос на КЛЛ с цоколями Е27 и Е14 повсеместно начал расти, что привело к соответствующему росту их производства. Сейчас в мире делается уже более 200 миллионов таких ламп в год, из них около 100 миллионов — в Китае. К сожалению, в нашей стране производится не более 10 тысяч таких ламп в год.

Компактные люминесцентные лампы с цоколями Е27 или Е14 обладают целым рядом преимуществ перед лампами накаливания и «неинтегрированными» КЛЛ: их световая отдача примерно в 5 раз выше, срок службы в 8-10 раз больше, лампы просто вкручиваются в патроны, не гудят, не мигают при включении, горят непульсирующим светом. Недостаток у них фактически один — высокая цена. Иностранные экономисты подсчитали, что при существующих в Европе и США ценах на электроэнергию срок окупаемости КЛЛ составляет 2 – 3 года при работе ламп около 3-х часов в сутки.

Лампы с интегрированным аппаратом включения классифицируются по мощности и цветности излучения. Как и у ламп первой группы, какого-либо единства в обозначении интегрированных КЛЛ нет — каждая фирма обозначает по-своему. По международной системе ILCOS все КЛЛ со встроенным аппаратом включения должны называться FSQ.

В России также производятся 3 – 4 типономинала КЛЛ со встроенным электронным аппаратом включения и со спиральной разрядной трубкой (рис. 29). Такие лампы типа «Аладин» или СКЛЭН мощностью 11, 13 и 15 *Вт* в небольших количествах делает Московский электроламповый завод.

Рис. 29. Спиральные люминесцентные лампы типа «Аладин»

В таблицах 6, 7, 8 и 9 приводятся параметры некоторых типов люминесцентных ламп отечественного и импортного производства.

Таблица 6

Усредненные параметры линейных люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Длина, мм (полная)	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
4	146	120	30
6	222	250	42
8	300	400	50
13	526	780	60
15	450	900	60
18 (20)	604	1060	60
30	910	2100	70
36 (40)	1214	2800	70
58 (65)	1514	4600	70

Срок службы ламп — от 6000 до 15000 часов.

Таблица 7

Параметры люминесцентных ламп серии Т5

Вариант ламп	Мощность, Вт	Длина, мм	Номинальный световой поток (при 20 °С)	Максимальный световой поток (при 35 °С)	Номинальная световая отдача, лм/Вт	Максимальная световая отдача, лм/Вт
FH (HE)	14	550	1200	1350	87,5	96
	21	850	1900	2100	90,5	100
	28	1150	2600	2900	93	104
	35	1450	3300	3650	94,3	104
FQ (HO)	24	550	1750	2000	72,9	89
	39	850	3100	3500	79,5	90
	54	1150	4450	5000	82,4	93
	80	1450	6150	7000	76,9	88

- *Срок службы ламп — 18000 часов при среднем спаде светового потока 10 %.*
- *Лампы выпускаются с цветовой температурой 2700, 3000, 4000 и 6000 К.*
- *Индекс цветопередачи всех ламп 85.*

Таблица 8

Параметры КЛЛ со встроенными аппаратами включения

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Габариты, мм		Масса, г	Тип цоколя
			L	D		
С двумя линейными участками	5	200	121	30	50	E14, E27
С четырьмя линей ными участками	9	400	130	45	70	E14, E27
	11	600	137	45	75	E14, E27
	15	900	180		105	E27
	20	1200	200		130	E27
С шестью линейными участками	15	900	140	52	105	E27
	20	1200	153	52	105	
	23	1500	175	58	150	

Средний срок службы ламп — 8000 часов.

Таблица 9

Параметры КЛЛ, включаемых с внешними аппаратами

Тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Длина, мм	Срок службы, часов	Тип цоколя
TC/TC-E (Dulux-S, PL-S/2p, Biax-S, Lynx-S)	5 7 9 11	250 400 600 900	105/85 135/115 165/145 235/215	8000	G23/2G7
TC-L	18 24 36 40 55	1200 1800 2900 3500 4800	225 320 415 535 535	8000	2G11
TC-D/DE	10 13 18 26	600 900 1200 1800	105/103 132/130 150/146 168/165	8000	G24 d-1/q-1 G24 d-1/q-1 G24 d-2/q-2 G24 d-3/q-3
TC-T/TE	13 18 26 32	900 1200 1800 2400	116/105 123/115 153/145 168	8000	GX24 d-1/q-1 GX24 d-2/q-2 GX24 d-3/q-3 GX24 q-4

Срок службы ламп не менее 8000 часов.

4.3.2. Ртутные лампы высокого давления

Рассмотренные в предыдущем разделе люминесцентные лампы — это лампы низкого давления. Разряд в них происходит при давлении паров ртути не более 0,1 *мм* ртутного столба или 10 паскалей (*Па*). Спектр излучения разряда при таких давлениях имеет линейчатый характер, причем, как уже было сказано, до 80 % мощности разряда приходится на две УФ линии: 257 и 185 *нм*, а на долю пяти линий видимой части спектра лишь около 2 %.

Если давление паров ртути повышается, то вначале все линии «расплываются» и превращаются в полосы, затем происходит перераспределение энергии: излучение в УФ области ослабевает, а в видимой — увеличивается. При давлении паров ртути около 1000 *мм* ртутного столба доля видимого излучения возрастает настолько, что световая отдача разряда достигает 20-25 *лм/Вт*, то есть становится больше, чем у ламп накаливания общего назначения. Но при этом все видимое излучение сосредоточено в сине-зеленой части спектра, а желтый и красный свет отсутствуют полностью. Многим знаком свет медицинских УФ облучателей — довольно неприятного сине-зе-

леного цвета, сильно искажающий вид освещаемых предметов, в частности, человеческих лиц. В этих облучателях применяются как раз ртутные лампы высокого давления типа ДРТ (дуговая, ртутная, трубчатая).

Несмотря на относительное ослабление доли УФ излучения, оно все же остается в спектре разряда в довольно большом количестве (около 40 % подводимой к разряду мощности). Так же как и в люминесцентных лампах низкого давления, это излучение с помощью люминофора может быть превращено в видимое. Но если в обычных люминесцентных лампах температура стенок колбы лишь немногим выше температуры окружающего воздуха, то в лампах высокого давления размеры колб гораздо меньше, и температура на стенках достигает 500 – 600 ^{o}C. Найти люминофоры, эффективно работающие при таких температурах, до сих пор не удалось.

Проблему решили в начале 50-х годов прошлого века. Малогабаритную ртутную лампу высокого давления поместили внутрь другой, значительно большей по размеру колбы, а уже на внутреннюю поверхность этой колбы стали наносить люминофор, имеющий наибольшую эффективность при температуре 200 – 300 ^{o}C и излучающий преимущественно в красной области. Сейчас в качестве люминофора чаще всего применяют фосфат-ванадат иттрия, активированный европием. С 1952 года начался массовый выпуск таких ламп ведущими мировыми производителями — General Electric, Philips, Osram. Сегодня по объему выпуска ртутные лампы высокого давления с люминофором занимают третье место после ламп накаливания и люминесцентных ламп.

На рис. 30 показано устройство лампы.

Разрядная трубка 1 («горелка») из кварца держателями 2 из достаточно толстой никелевой проволоки закреплена на ножке 3 (у мощных ламп горелка поддерживается еще и пружинящим держателем 4, упирающимся во внешнюю колбу). Ножка 3 герметично впаяна во внешнюю колбу 5, покрытую изнутри слоем люминофора 6. В ртутных лампах высокого давления используются самокалящиеся электроды 7 в виде спирали, навитой на вольфрамовый стержень (керн) и покрытой активирующим веществом. Кроме основных электродов 7, в лампах имеются поджигающие электроды 8, расположенные вблизи основных и электрически соединенные с противоположными электродами через ограничительные

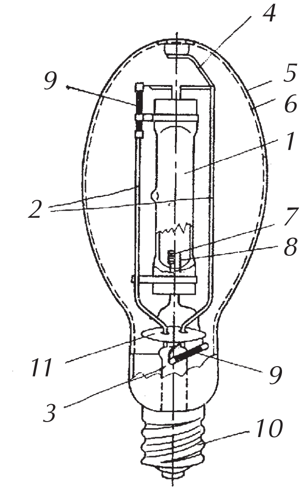


Рис. 30. Устройство ртутных ламп высокого давления с люминофором

сопротивления 9. На внешней колбе с помощью высокотемпературной мастики крепится стандартный резьбовой цоколь 10. Между горелкой и цоколем крепится тепловой экран 11 (обычно из слюды). Внутренний объем горелки заполнен инертным газом аргоном с давлением от 10 до 50 *мм* ртутного столба (в зависимости от мощности лампы) и ртутью.

В отличие от люминесцентных ламп, в которых ртуть всегда находится в жидком состоянии, в лампах высокого давления количество ртути строго дозировано, и при работе ламп ртуть в горелках находится только в газообразном состоянии при давлении паров 1000 – 1500 *мм* ртутного столба (1,5 – 2 атмосферы). Для получения таких высоких давлений паров ртути температура стенок горелки должна быть не менее 500 ^{o}C. Поэтому горелки ламп высокого давления делают только из кварца. Пространство между горелкой и внешней колбой заполняется газом (техническим аргоном).

Схема включения ртутных ламп высокого давления проще, чем люминесцентных ламп (рис. 31). Благодаря наличию поджигающих электродов, расположенных очень близко к основным, между этими электродами разряд возникает при напряжениях ниже сетевого. Этот разряд очень слаб, так как ток его ограничен сопротивлениями 9, но он создает начальную ионизацию газа в горелке, за счет которой разряд переходит на основные электроды. Ток основного разряда ограничивается только дросселем, и величина его в первое время после включения в 2 – 3 раза больше, чем после полного разгорания лампы. Ток разряда разогревает основные электроды до температуры, обеспечивающей достаточную эмиссию электронов из них (1000 – 1200 ^{o}C). Из-за большого тока разряда начинают разогреваться стенки горелки, находящаяся на них ртуть постепенно полностью испаряется, и процессы в лампе стабилизируются. Процесс разгорания длится достаточно долго — от 7 до 10 минут.

Как и в схемах с люминесцентными лампами, дроссель создает сдвиг фаз между током и напряжением ($\cos\varphi \approx 0{,}5$). Для компенсации этого сдвига параллельно цепочке из лампы и дросселя включается компенсирующий конденсатор (см. рис. 25 а).

Ртутные лампы высокого давления с люминофором выпускаются мощностью 80, 125, 250, 400, 700 и 1000 *Вт*; изредка встречаются лампы мощностью 50 и 2000 *Вт*. Лампы мощностью 50, 80 и 125 *Вт* выпускаются с цоколем Е27, более мощные — с цоколем Е40. Потери мощности в дросселях, как правило, составляют не больше 10 %.

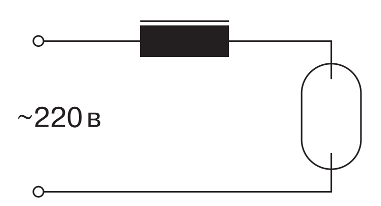


Рис. 31. Схема включения ртутных ламп высокого давления

Световая отдача современных ламп — от 40 до 60 *лм/Вт*; срок службы — до 24000 часов. По этим параметрам ртутные лампы высокого давления значительно превосходят лампы накаливания, что и предопределило их очень широкое распространение.

Кроме высокой световой отдачи и большого срока службы, ртутные лампы высокого давления имеют и другие достоинства: относительная компактность; простота включения; широкий диапазон мощностей; очень слабая зависимость параметров от окружающей температуры. Недостатки таких ламп:

1. Низкое качество цветопередачи (R_a= 45 – 50; у иностранных ламп Delux и Super Delux — не выше 55).
2. Большие пульсации светового потока (65 – 75 %).
3. Большое время разгорания (до 10 минут).
4. Невозможность повторного включения горячей лампы — если лампа случайно погасла, снова включить ее можно только после остывания горелки.
5. Высокая температура на внешней колбе (250 – 300 ^oC).

Ртутные лампы высокого давления широко применяются там, где не требуется качество цветопередачи, — в уличном освещении, на складах, на промышленных предприятиях (при наличии вращающихся деталей — с обязательным включением соседних светильников в разные фазы) и т.п.

Классификация и обозначение ламп

Ртутные лампы высокого давления классифицируются по мощности.

В России лампы выпускаются под названием ДРЛ (дуговая, ртутная, люминесцентная), далее указывается мощность в ваттах.

За рубежом каждая фирма выпускает лампы под своим названием: Philips — HPL; Osram — HQL; General Electric — MBF; Sylvania — HSL и HSB; Radium — HRL. По международной системе обозначений ILCOS все эти лампы называются QE.

В таблице 10 (см.стр.57) даны усредненные параметры некоторых типов ртутных ламп высокого давления с люминофорами.

4.3.3. Металлогалогенные лампы

В 1964 году американская фирма General Electric для освещения павильонов Всемирной выставки Экспо-64 в Нью-Йорке впервые применила новый тип ламп — металлогалогенные (МГЛ). С 1969 года выпуск таких ламп освоили фирмы Philips и Osram, в 70-е годы Саранский электроламповый завод в СССР.

Таблица 10

Параметры ртутных ламп высокого давления

Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Размеры, мм		Цоколь
			D	L	
80	3800	47,5	73	160	E27
125	6600	52,8	78	184	E27
250	13500	54	91	230	E40
400	24000	60	122	292	E40
700	40000	57	152	368	E40
1000	57000	57	180	400	E40
2000	120000	60	187	445	E40

Срок службы ртутных ламп высокого давления не менее 15000 часов.

По устройству МГЛ похожи на ртутные лампы высокого давления, но внешняя колба у них не покрыта люминофором, а сделана из прозрачного или (гораздо реже) из матового стекла. Первичным источником излучения, как и в лампах ДРЛ, служит горелка из кварца или поликристаллической окиси алюминия, наполненная инертным газом и ртутью. Но если в лампах ДРЛ для исправления цветности и повышения световой отдачи применяется люминофор, то в МГЛ для этой же цели применяются специальные светоизлучающие добавки: галогенные соединения различных металлов (чаще всего — натрия и скандия, а также галлия, индия, таллия и редкоземельных элементов — диспрозия, гольмия, тулия и др.).

Для того чтобы давление паров светоизлучающих добавок в МГЛ было достаточно большим, горелка должна нагреваться до более высоких температур, чем в лампах ДРЛ, и давление «стартового» инертного газа в ней должно быть выше. Такого простого решения для зажигания разряда, как в ДРЛ (установка поджигающих электродов вблизи основных), уже недостаточно: если в ДРЛ разряд возникает при напряжении ниже сетевого, то в МГЛ для этого требуется напряжение от 3 до 5 киловольт.

Изменяя состав светоизлучающих добавок, можно в широких пределах изменять цветность излучения — от тепло-белого с $T_{цв}$ = 3000 *K* до дневного с $T_{цв}$ = 6500 *K*, а также создавать цветные лампы.

Сегодня в мире производится более 250 типономиналов МГЛ мощностью от 20 до 3500 *Вт*.

Металлогалогенные лампы имеют большие световые отдачи, чем ДРЛ и лучшую цветопередачу ($R_а$ до 90). Благодаря тому, что источником света в МГЛ является малогабаритная горелка, а не внешняя колба, световой поток их значительно легче перераспределяется в пространстве с помощью отражателей или линз. Это свойство позволило создавать глубокоизлучающие светильники и прожекторы с очень

узким световым пучком, что невозможно при использовании ДРЛ из-за больших габаритов светящегося тела.

Параметры МГЛ так же, как и ДРЛ, мало зависят от температуры окружающего воздуха, но гораздо больше — от колебаний сетевого напряжения. При этом часто наблюдается интересное явление — изменение напряжения даже в относительно небольших пределах (± 5 %) вызывает заметное изменение цветности излучения. Изменение цветности происходит также и самопроизвольно в процессе работы ламп, причем у разных экземпляров ламп по-разному (так называемое «разбегание цветов»). Это особенно заметно в многоламповых осветительных установках, когда при сдаче установки в эксплуатацию все лампы светят одинаково, а спустя некоторое время освещение становится «разноцветным». По стандартам разных стран цветовая температура излучения МГЛ в течение срока службы может меняться на 500 *K*, то есть лампа с $T_{цв}$=3500 *K* («белая») может стать «тепло-белой» с $T_{цв}$=3000 *K* или «ярко-белой» с $T_{цв}$=4000 *K*. Это происходит от того, что светоизлучающие добавки по-разному взаимодействуют с кварцем и вольфрамом и за счет этого состав наполнения в процессе работы ламп постепенно изменяется.

Необходимо отметить, что цветность излучения некоторых типов МГЛ зависит и от рабочего положения ламп, поэтому лампы должны эксплуатироваться только в том положении, которое регламентировано документацией для каждого конкретного типа.

Металлогалогенные лампы очень трудоемки в изготовлении и требуют исключительно высокой культуры производства. Особые сложности при изготовлении ламп связаны с герметичной заваркой горелок, так как существующая технология запрессовки вводов не обеспечивает достаточной точности соблюдения размеров горелок.

Для повышения стабильности параметров МГЛ фирмы Philips и Osram с 1998 года начали делать горелки не из кварца, а из поликристаллической окиси алюминия Al_2O_3. По химическому составу поликристаллическая окись алюминия полностью идентична драгоценным сапфиру и рубину, а также обыкновенной глине. Технологи разных стран, прежде всего США и СССР, в рамках своих космических программ уже достаточно давно научились делать этот материал очень высокого качества и изготавливать из него трубки заданного диаметра с хорошей точностью. Из заготовок можно делать отрезки трубок строго выдержанной длины. По химической и тепловой стойкости поликристаллическая окись алюминия превосходит кварц, поэтому вполне годится для создания горелок разрядных ламп высокого давления, у которых, в отличие от кварцевых, все геометрические размеры будут выдержаны с очень высокой точностью. Проблема создания таких горелок состояла в обеспечении герметичности токовых вво-

дов, способных работать при высоких температурах в среде достаточно агрессивных галогенных светящихся добавок. Но к 1998 году и эта проблема была успешно решена. Сейчас МГЛ с горелками из поликристаллической окиси алюминия или, как их чаще называют, с керамическими горелками в большом количестве выпускаются ведущими электроламповыми фирмами.

Точно выдержанные размеры горелок и высокая химическая стойкость керамики значительно повысили стабильность световых параметров МГЛ. Изменение цветовой температуры к концу срока службы ламп с керамическими горелками не превышает ± 200 *K*, спад светового потока за 4000 часов не более 20 %. Пока такие лампы выпускаются только малой мощности (20—150 *Вт*).

Основная ***область применения МГЛ*** — освещение при цветных телерепортажах, киносъемках и освещение больших спортивных арен. Создание маломощных ламп, особенно с керамическими горелками, открыло широкую дорогу для внедрения МГЛ во внутреннее освещение — для торговых залов, витрин, выставочных павильонов, некоторых административных помещений и др.

Срок службы отдельных типов современных МГЛ достигает 15000 часов. Лампы выпускаются с различной цветностью излучения и с разным качеством цветопередачи.

Так как для зажигания разряда в МГЛ требуется напряжение в несколько киловольт, то лампы включаются только со специальными зажигающими устройствами. На рис. 32 показана типичная схема включения МГЛ. Как и все газоразрядные лампы, МГЛ могут работать только вместе с балластным дросселем, создающим сдвиг фаз между током и напряжением. Поэтому требуется компенсация коэффициента мощности, то есть включение компенсирующего конденсатора.

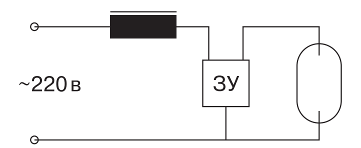


Рис. 32. Схема включения металлогалогенных ламп

В последние годы ряд фирм начал выпускать электронные аппараты включения маломощных МГЛ. Высокочастотное питание ламп высокого давления не дает таких преимуществ, какие мы видели у люминесцентных ламп, и, кроме того, приводит к неустойчивости разряда (так называемому «акустическому резонансу»). Поэтому, в отличие от люминесцентных ламп, МГЛ через такие аппараты питаются не высокочастотным током, а напряжением прямоугольной формы с частотой 100 – 150 *Гц*. Электронные аппараты включения МГЛ значительно (в 3 – 4 раза) легче дросселей и, кроме того, сочетают функции балласта и зажигающего устройства, а иногда и компенсирующего конденсатора. Лампы с керамическими горелками, как правило, рекомендуется использовать с электронными аппаратами.

Недостатками МГЛ являются: высокая стоимость (в несколько раз дороже ДРЛ, особенно лампы с керамическими горелками); большое время разгорания (до 10 минут); большая глубина пульсаций светового потока (у ламп с редкоземельными элементами, имеющих наилучшую цветопередачу, — до 100 %); невозможность повторного включения горячей лампы после ее погасания хотя бы на доли секунды; необходимость применения зажигающих устройств.

Поскольку МГЛ большой мощности применяются для освещения крупных спортивных мероприятий с большим количеством зрителей, погасание ламп может вызвать панику среди зрителей, не говоря уже о срыве спортивного мероприятия. Для исключения таких явлений в прожекторах для освещения спортивных арен, кроме обычных зажигающих устройств, используются блоки мгновенного перезажигания ламп — сложные, тяжелые и очень дорогие устройства, автоматически дающие на лампу при ее погасании импульсы с напряжением до 50 *кВ*, способные зажечь даже горячую лампу. Лампы, предназначенные для работы с такими блоками, имеют особую конструкцию — один из электродов выводится через цоколь, другой — через противоположную цоколю сторону внешней колбы.

Классификация и обозначения металлогалогенных ламп

Металлогалогенные лампы классифицируются по мощности, цветности излучения, общему индексу цветопередачи, конструктивному исполнению, типу цоколя.

Лампы изготавливаются мощностью 20, 35, 50, 70, 150, 250, 400, 700, 1000, 2000 и 3500 ватт. Лампы мощностью 2000 и 3500 *Вт* включаются в сеть с напряжением 380 *В*, остальные — 220 *В*.



Рис. 33. Внешний вид МГЛ

Лампы выпускаются с широким диапазоном цветности излучения — от тепло-белого с $T_{цв}$= 3000 *K* до дневного с $T_{цв}$= 6500 *K*. Немецкая фирма ***BLV*** несколько лет назад первой в мире начала промышленное производство цветных МГЛ — синих, зеленых, оранжевых и пурпурных (magenta). Сегодня, кроме этой фирмы, цветные МГЛ начали выпускать и на Philips. Мощность цветных ламп от 150 до 1000 *Вт*; лампы делаются в одноцокольном исполнении с цоколем E40 или софитного типа с цоколями RX7s. Интересно отметить, что по сообщению представителей фирмы BLV основной потребитель цветных МГЛ — Россия, где эти лампы широко используются для архитектурно-художественного освещения зданий.

По конструктивному исполнению МГЛ можно разделить на двухцокольные (называемые также «софитными»), одноцокольные и

бесцокольные. Двухцокольные МГЛ иногда делаются не со стеклянной, а с кварцевой внешней колбой сравнительно небольшого диаметра. Цоколи у таких ламп — торцевые типа RX7s. Двухцокольные лампы могут работать в горизонтальном положении с допустимым углом отклонения от горизонтали ± 45^{o}. Это наиболее распространенный тип МГЛ для прожекторов заливающего света, используемых в архитектурном освещении. Одноцокольные МГЛ мощностью 250 – 2000 *Вт* имеют стандартный резьбовой цоколь E40. Некоторые типы ламп с цоколем E40 могут работать в любом положении, другие же — только в вертикальном или только в горизонтальном положении с определенным допустимым углом отклонения. Рабочее положение ламп оговаривается в технической документации. Лампы малой мощности (в частности, многие МГЛ с керамическими горелками) имеют специальные цоколи G8,5, G12 и др. Лампы с керамическими горелками, предназначенные для замены натриевых ламп в уличных светильниках, делаются с цоколями E27 (70 *Вт*) и E40 (150 *Вт*). Форма внешней колбы у ламп с односторонней цоколевкой может быть эллипсоидной или цилиндрической. Эллипсоидные колбы иногда делаются матированными для снижения слепящего действия ламп.

Бесцокольными изготавливаются лампы очень большой мощности — 2000 и 3500 *Вт*. Для подключения таких ламп к электрической сети служат гибкие токовводы с наконечниками в виде крючка или кольца.

Все МГЛ как отечественного, так и импортного производства включаются со специальными зажигающими устройствами, подающими на лампы высокочастотные импульсы с напряжением 3 – 5 *кВ*. После зажигания ламп или в случае неисправной лампы зажигающее устройство автоматически отключается.

В обозначении МГЛ российского производства используются буквы ДРИ или ДРИШ (дуговая ртутная с йодидами, Ш — шаровая форма горелки), далее цифры, указывающие мощность лампы в ваттах, и через дефис — модификация или конструктивное исполнение лампы (1 — лампы для теле-; киносъемок с $T_{цв}$= 6000 *K*, без внешней колбы; 5 — лампы с натрий-скандиевым наполнением, $T_{цв}$= 4200 *K*, эллипсоидная внешняя колба; 6 — с таким же наполнением и с цилиндрической внешней колбой).

В маркировке МГЛ зарубежного производства, как и для других типов ламп, каждая фирма использует свою систему обозначений: Philips — HPI для ламп с односторонней цоколевкой и MHW-TD для софитных ламп; Osram — HQI и HQI-TS; General Electric — ARC, ARC-D, ARC-TD; Sylvania — M, HIS, HIS-TD. Далее в обозначении указывается мощность лампы в ваттах.

Лампы с керамическими горелками обозначаются буквами CDM и цифрами, показывающими мощность лампы. В России МГЛ с керамическими горелками не производятся.

По международной системе обозначений ILCOS одноцокольные МГЛ с внешней эллипсоидной колбой маркируются буквами ME, с внешней цилиндрической колбой — MT, двухцокольные (софитные) — MD.

В таблице 11 даны усредненные параметры некоторых типов МГЛ.

Таблица 11

Параметры металлогалогенных ламп

Тип	Мощность, Вт	$T_{цв}$, K	Световой поток, лм	Срок службы, ч	Габариты, мм		Цоколь
					L	D	
Лампы с керамическими горелками	70	3000	6300	9000	156	32	E27
	150	3000	13500	9000	211	47	E40
	35	3000	3400	9000	85	14	G8,5
	70	4200	6600	9000	85	17	G12
	150	4200	14000	9000	85	17	G12
Лампы с кварцевыми горелками	35	3000	3400	9000			G12/RX7s
	70	3000	6000	9000			G12/RX7s
	150	3000	14000	9000	132	23	G12/RX7s
	250	4200	19000	10000	227	62	E40
	400	4200	36000	10000	290	62	E40
Colorlite	150 400 1000	Цветные		6000 6000 6000	132 275 336	23 46 76	RX7s E40 E40

4.3.4. Натриевые лампы



Электрический разряд в парах натрия при низком давлении создает яркое желтое свечение с длиной волны 590 *нм*. Так как эта длина волны лежит близко к максимуму спектральной чувствительности глаза (555 *нм*), то световая отдача излучения натриевого разряда может быть очень высокой (теоретически более 250 *лм/Вт*). Первые натриевые лампы были созданы еще в начале 30-х годов 20-го века. Они действительно имели очень высокую световую отдачу, но очень плохую цветопередачу, большие габариты и малый срок службы, и практического применения в те годы не нашли.

В начале 60-х годов фирма General Electric на базе военно-промышленных технологий создала первые натриевые лампы высокого давления (НЛВД). По существу НЛВД — это одна из разновидностей МГЛ, в которой в качестве светоизлучающей добавки используется натрий. Однако из-за очень высокой химической активности натрия и

более высокой температуры в разряде для изготовления горелки применяется не кварц, а поликристаллическая окись алюминия в виде тонкостенной трубки диаметром от 5 до 9 *мм* и длиной от 45 до 150 *мм* в зависимости от мощности (рис. 34). Керамика не позволяет создавать герметичные токовводы методом заштамповки фольги или проволоки, как это делается у всех других источников света. Поэтому для токовводов используются специальные конструкции (в виде дисков или колпачков из редкого металла ниобия), герметично впаянные в трубочки из поликристаллической окиси алюминия стеклоцементом (смесь окисей алюминия Al_2O_3 и кальция CaO). Для самих электродов используется вольфрам, активированный торием. Горелка помещается внутри внешней колбы, откачанной до высокого вакуума. Она наполняется инертным газом (аргоном или ксеноном) и в нее вводится небольшое количество амальгамы натрия — сплава натрия и ртути.

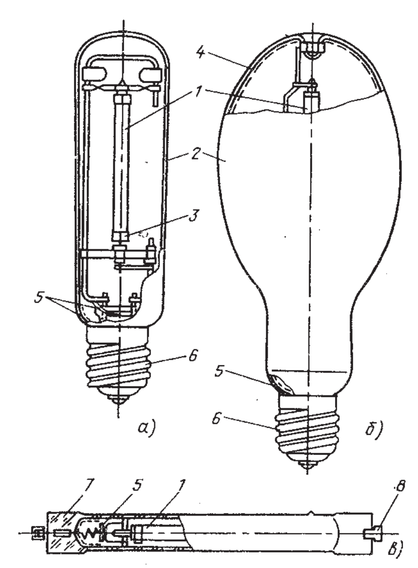


Рис. 34. Устройство натриевых ламп высокого давления

При работе НЛВД температура стенок горелки-трубочки повышается за счет тока разряда, ртуть и натрий испаряются, повышается давление их паров, и разряд начинает светиться ярким желтым светом. Трубочка из поликристаллической окиси алюминия внешне похожа на матовое стекло, но ее коэффициент пропускания для света разряда очень высок — примерно 92 %, поэтому свет выходит наружу почти без потерь. Время разогрева горелки до установившейся температуры (время разгорания лампы) меньше, чем у ДРЛ или МГЛ за счет меньшего диаметра трубки, и равно 5 – 7 минут.

Как и у всех МГЛ, для включения НЛВД используются специальные зажигающие устройства, дающие на лампу импульсы с напряжением 2 – 5 *кВ*.

Натриевые лампы высокого давления — это один из самых экономичных источников света: световая отдача ламп мощностью 600 *Вт* достигает 150 *лм/Вт*, то есть в 2,5 раза больше чем у ДРЛ и в 10 раз больше чем у ламп накаливания.

Низкое качество цветопередачи предопределило основную область применения НЛВД — освещение улиц и других открытых пространств. В последние годы эти лампы стали достаточно широко использоваться и при освещении некоторых производственных поме-

щений, где нет жестких требований к различению цветов, например, высоких металлургических и металлообрабатывающих цехов, складов, локомотивных и вагонных депо и т.п.

Исследования врачей-гигиенистов показали, что контрастная чувствительность и острота различения у человеческого глаза при желтом свете имеют наибольшие значения. Поэтому замена других источников света на НЛВД при освещении дорог в принципе дает не только экономию электроэнергии, но и обеспечивает более четкое различение препятствий водителями транспорта. Однако прямая замена ДРЛ на НЛВД в старых светильниках долгое время была невозможной, так как для работы НЛВД нужны зажигающие устройства. В последние годы были созданы НЛВД, у которых за счет различных конструкторско-технологических усовершенствований напряжение зажигания снижено. Такие лампы могут просто устанавливаться в старые светильники вместо ДРЛ. При этом ДРЛ мощностью 400 *Вт* заменяются НЛВД мощностью 210 *Вт*, которые создают даже большую освещенность, что дает значительную экономию электроэнергии.

За счет исключительно высокой химической и термической стойкости поликристаллической окиси алюминия НЛВД имеют очень большие сроки службы — до 28500 часов. Фирма General Electric производит двухгорелочные НЛВД, в которых в одной внешней колбе параллельно друг другу расположены две одинаковые горелки, работающие поочередно. Срок службы таких двухгорелочных ламп — 55000 часов (15 лет с ежесуточной наработкой по 10 часов). Спад светового потока к концу срока службы у НЛВД меньше, чем у МГЛ и ДРЛ, и составляет 20 %.

В последние годы за рубежом широко рекламируются НЛВД «с улучшенной цветопередачей» (R_a= 60, $T_{цв}$= 2200 *К*) и «белого света» (R_a до 85, $T_{цв}$= 2500 – 2800 *К*). Однако эти лампы имеют значительно меньший срок службы (до 8000 часов) и меньшую световую отдачу (у ламп «белого света» — всего 50 *лм/Вт*), и никаких преимуществ перед МГЛ у них нет.

Российская фирма «Рефлакс» (Москва) разработала совершенно особый тип НЛВД, не имеющий аналогов за рубежом. Внешняя колба этих ламп имеет специально рассчитанную форму и покрыта изнутри высокоотражающим алюминием. За счет этого лампа сама выполняет функции светильника, то есть перераспределяет световой поток в пространстве требуемым образом. Лампы выпускаются с двумя видами светораспределения: широкого излучения с максимумом под углом 68^{o} к оптической оси и полуширокого — с углом около 45^{o}. Внутренняя оптическая система ламп «Рефлакс» обеспечивает КПД до 95 %, не достигнутый пока ни в одном светильнике с подобным

светораспределением. Срок службы и световая отдача этих ламп — такие же, как у лучших ламп зарубежного производства.

К недостаткам НЛВД, кроме плохой цветопередачи и большого времени разгорания, относится и большая глубина пульсаций светового потока (80 %, а иногда и больше). Еще одним недостатком НЛВД является рост напряжения на лампе в течение срока службы (примерно на 2 вольта за каждые 1000 часов). Это приводит к тому, что лампы к концу срока службы перестают зажигаться.

Основное применение НЛВД, как уже было сказано, — освещение улиц, площадей, автостоянок, туннелей, высоких производственных помещений. За рубежом, особенно в Голландии, НЛВД очень широко используются и в сельском хозяйстве — в теплицах, оранжереях, селекционных камерах. Фирма ***Philips*** разработала для этих целей специальные модификации ламп ***SON-T Agro*** мощностью 400 и 600 *Вт*, отличающиеся несколько увеличенной долей излучения в синей области спектра, что способствует более гармоничному росту и развитию растений.

Классификация и обозначение натриевых ламп высокого давления

Сейчас в мире выпускаются НЛВД четырех конструктивных исполнений: в прозрачной цилиндрической внешней колбе с резьбовым цоколем; в эллипсоидной (прозрачной или матированной) внешней колбе с резьбовым цоколем; в цилиндрической стеклянной или кварцевой колбе с двухсторонней цоколевкой; в колбе специальной формы с внутренним отражателем.

У ламп с односторонней цоколевкой мощностью до 70 *Вт* — цоколь E27, у ламп 100 *Вт* и более — E40. У ламп с двухсторонней цоколевкой (софитных) — RX7s.

Лампы классифицируются по мощности и конструктивному исполнению. В России НЛВД обозначаются буквами ДНаТ (дуговая натриевая трубчатая) или ДНаМТ (в матированной колбе); далее указывается мощность в ваттах и конструктивное исполнение (5 — эллипсоидная колба). Лампы с внутренним отражателем фирмы «Рефлакс» обозначаются ДНаЗ (дуговая натриевая зеркальная); лампы с полуширокиим светораспределением — ДНаЗ-1. За рубежом единства в обозначении НЛВД, как и других ламп, нет: General Electric обозначает их Lucalox-T(E,TD), Osram — NAV-T(E,TS), Philips — SON, SDW-T, Sylvania — SHP, SHP-TS (T — цилиндрическая одноцокольная; E — эллипсоидная одноцокольная; TD и TS — софитная двухцокольная). По международной системе обозначений ILCOS одноцокольные НЛВД в цилиндрической колбе маркируются ST, в эллипсоидной колбе — SE, двухцокольные (софитные) — SD.

В таблице 12 даны усредненные параметры НЛВД.

Таблица 12

Усредненные параметры натриевых ламп высокого давления

Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Габариты, мм	
			L	D
50	3500	70	130	55
70	5600	80	165	42
100	9800	98	165	42
150	14500	97	211	48
210	25000	120	226	90
250	27000	110	250	48
400	48000	120	278	48
600	90000	150	350	67
1000	130000	130	375	82

Срок службы ламп — до 28500 часов.

Несколько слов необходимо сказать о натриевых лампах низкого давления. Эти лампы — самый старый газоразрядный источник света. Первые лампы такого типа были созданы фирмой Philips в Голландии еще в 1932 году и использовались там для уличного освещения (в 1937 году — в Москве), но из-за полного отсутствия цветопередачи быстро сошли со сцены. После многолетнего забвения в 70-е годы прошлого века фирма Philips, а за ней General Electric и Osram на новой технологической базе возобновили производство этих ламп. Сейчас натриевые лампы низкого давления (НЛНД) используются для освещения загородных автострад, погрузочно-разгрузочных площадок морских портов, железнодорожных станций и в других местах, где нет никаких требований к качеству цветопередачи. Лампы выпускаются шести типономиналов мощностью от 18 до 180 *Вт*.

Таблица 13

Параметры натриевых ламп низкого давления

Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Габариты, мм	
			L	D
18	1800	100	216	54
35	4800	137	310	54
55	8000	145	425	54
90	13500	150	530	68
135	22500	166	725	68
180	36000	200	1120	68

Срок службы натриевых ламп низкого давления — до 15000 часов.

Натриевые лампы низкого давления — самые экономичные из существующих сегодня источников света: их световая отдача достигает 200 *лм/Вт*. В таблице 13 приведены параметры НЛНД фирмы Philips. В России НЛНД в настоящее время производятся только одного номинала мощности — 140 *Вт*. Фирмы Philips, Osram и General Electric обозначают НЛНД одинаково — SOX.

4.3.5. Безэлектродные люминесцентные лампы

Срок службы обычных люминесцентных ламп определяется двумя факторами: спадом светового потока за счет «отравления» люминофора атомами ртути и продуктами распыления электродов и потерей эмиссионной способности электродов из-за полного расхода активирующего покрытия. Если раньше решающим был первый из этих факторов, то в последние годы научились делать лампы с защитной пленкой на люминофоре, значительно уменьшившей спад светового потока, и срок службы ламп нового поколения (T5) определяется, в основном, уже только эмиссионной способностью электродов. Поэтому создание ламп без электродов — это реальный путь повышения срока службы люминесцентных ламп.

Возбуждение атомов до высокого энергетического уровня и связанное с этим свечение могут происходить не только при протекании электрического тока через разрядный промежуток, но и при воздействии высокочастотного электромагнитного поля. Спектр излучения при этом остается таким же, как и при возбуждении атомов протекающим электрическим током. Это давно известное явление удалось претворить в реальные и жизнеспособные конструкции источников света только в 90-е годы минувшего века благодаря достижениям полупроводниковой электроники. Сейчас три мировых лидера в области источников света (Philips, Osram, General Electric) производят безэлектродные люминесцентные лампы низкого давления трех разных типов.

Несмотря на совершенно различное конструктивное исполнение, принцип работы этих трех типов ламп одинаков (рис. 35). С помощью преобразователя 1 напряжение сети преобразуется в высокочастотное, которое питает индуктор 2. Высокочастотное электромагнитное поле передается индуктором в разрядный объем 3, представляющий собой стеклянную колбу, наполненную инертным газом и ртутью и покрытую изнутри люминофором.

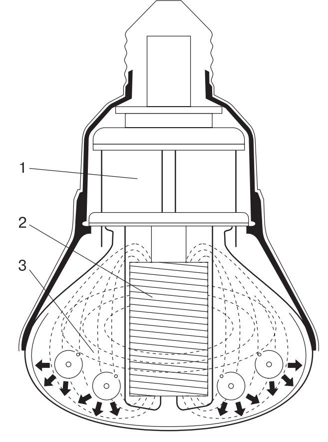


Рис. 35. Устройство безэлектродных люминесцентных ламп

Под действием высокочастотного электромагнитного поля в разрядном объеме происходит возбуждение атомов ртути, при котором до 80 % подводимой мощности превращается в ультрафиолетовое излучение. Это излучение вызывает свечение люминофора точно так же, как это происходит в обычных лампах. Строго говоря, в «разрядном объеме» никакого разряда нет — в нем нет электродов, и электрический ток там не протекает и не может протекать. Но так как физические процессы, вызывающие свечение, здесь аналогичны тем, которые происходят в люминесцентных лампах, безэлектродные лампы традиционно относят к классу разрядных источников света.

Первые промышленные образцы безэлектродных люминесцентных ламп под названием ***QL*** были выпущены фирмой Philips в 1991 году. Лампы имеют грушевидную форму с диаметром колбы около 100 *мм*, мощность 85 *Вт*, световую отдачу около 50 *лм/Вт* и срок службы 60000 (!) часов. Цветность излучения определяется составом люминофора. Преобразователь, работающий с частотой 2,65 *МГц*, находится в отдельной коробке, расположенной рядом с лампой, индуктор — в патроне. Сейчас лампы типа QL выпускаются с двумя значениями мощности — 85 и 125 *Вт* (рис. 36). Большой срок службы этих ламп делает их незаменимыми там, где светильники труднодоступны для обслуживания (то есть для замены ламп) — в высоких цехах, в заградительных огнях на высоких трубах или мачтах и т.п. Лампы очень дороги, но часто их применение экономически вполне оправдано. В качестве примера их использования можно назвать сигнально-заградительные огни на трубах Норильского горно-металлургического комбината высотой около 300 метров.

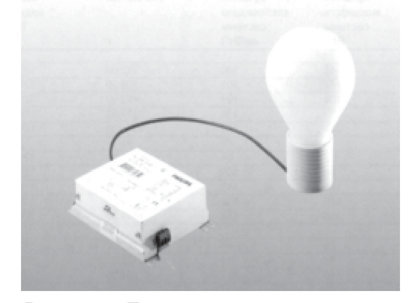


Рис. 36. Безэлектродная люминесцентная лампа QL

В 1994 году фирма General Electric выпустила свою безэлектродную люминесцентную лампу под названием ***Genura***. Лампа мощностью 23 *Вт* по форме и размерам близка к лампе накаливания мощностью 100 *Вт* (диаметр 80 *мм*) и снабжена цоколем Е27. По световому потоку она эквивалентна лампе накаливания мощностью 100 *Вт*, а по сроку службы превосходит ее в 15 раз. Цветность лампы Genura также близка к цветности ламп накаливания. Рабочая частота преобразователя, который находится в цоколе лампы, — 2,5 *МГц*.

В 1998 году и третий электроламповый гигант — Osram — начал производить свои безэлектродные люминесцентные лампы под названием ***Endura***. Мощность первой лампы этого типа — 150 *Вт*, световая отдача — около 80 *лм/Вт*. Лампа сделана в виде буквы О с

длиной 414, шириной 139 и высотой 72 *мм*. По обеим коротким сторонам лампы расположены индукторы в виде кольцевых трансформаторов, охватывающих колбу. Преобразователь расположен в отдельном блоке, который может быть удален от лампы на расстояние до 0,5 *м*. Частота генерации преобразователя — около 250 *кГц*. Срок службы таких ламп — 60000 часов. С 1999 года Osram начал производство ламп Endura мощностью 100 *Вт* с меньшими габаритами — (313 х 139 х 72 *мм*). Лампы Endura применяются для освещения улиц в некоторых городах Германии, а также для освещения промышленных предприятий, особенно таких, где светильники расположены на большой высоте и замена ламп вызывает определенные трудности.

На выставке «Интерсвет-2003» в Москве впервые были показаны безэлектродные люминесцентные лампы китайского производства.

В России безэлектродные люминесцентные лампы не производятся.

4.3.6. Другие типы газоразрядных ламп

Все рассмотренные типы разрядных ламп содержат ртуть, что делает их экологически опасными изделиями. С другой стороны, наличие ртути обусловливает сильную зависимость параметров ламп, особенно низкого давления, от окружающей температуры. От этих недостатков свободны безртутные газоразрядные лампы, среди которых наиболее распространены лампы с наполнением инертными газами неоном и ксеноном.

Разряд в неоне дает излучение в широком участке спектра — от ультрафиолетового до инфракрасного. При этом в видимой области достаточно интенсивно оранжево-красное излучение с длинами волн 580 – 730 *нм*. Ультрафиолетовые линии неонового разряда с помощью люминофоров могут превращаться в свет различных цветов, как это происходит в обычных люминесцентных лампах.

Неоновые лампы с люминофорами в виде длинных и тонких трубок очень широко используются для создания различных надписей, картин и т.п. Лампы делаются с холодными электродами и включаются через трансформаторы с рассеиванием. Напряжение холостого хода таких трансформаторов составляет несколько киловольт и достаточно для зажигания ламп. После зажигания разряда выходное напряжение трансформатора резко снижается, поэтому такие трансформаторы одновременно являются балластными сопротивлениями.

Параметры неоновых ламп очень слабо зависят от окружающей температуры. Поэтому такие лампы широко применяются в наружном световом оформлении городов для создания реклам, вывесок и т.п. Кроме таких ламп, неоновый разряд используется в лампах тлею-

щего свечения, выполняющих функции не источника света, а световых индикаторов.

Дуговые неоновые лампы мощностью 500 *Вт* с подогревными электродами (длина 1315 *мм*, диаметр 65 *мм*) применяются в гражданской и военной авиации для сигнальных огней. Световая отдача таких ламп — 13 *лм/Вт*, то есть значительно больше, чем у ламп накаливания с красным фильтром. Срок службы 1000 часов.

Ксеноновый разряд высокого и сверхвысокого давления дает излучение со спектром, очень близким к спектру Солнца. Лампы с ксеноновым наполнением бывают трубчатыми и шаровыми.

Трубчатые ксеноновые лампы высокого давления (ДКсТ) — это самые мощные источники света (до 50000 *Вт*). Они применяются для освещения больших открытых пространств — площадей, карьеров, железнодорожных станций, портов. Световая отдача таких ламп — до 45 *лм/Вт*, срок службы до 1500 часов. Для зажигания ламп требуется напряжение до 50 *кВ*. Ток мощных ламп настолько велик, что они могут работать без балласта — ограничительным сопротивлением служат подводящие провода. Параметры ламп практически не зависят от окружающей температуры, но сильно зависят от напряжения. Температура колбы ксеноновых ламп — 700 – 750 ^{o}C. Часто применяется водяное охлаждение, позволяющее значительно уменьшить размеры ламп и повысить их световую отдачу.

Шаровые ксеноновые лампы сверхвысокого давления типа ДКсШ являются источниками света исключительно высокой яркости (до 1000000 килокандел на см^2, в 6 – 7 раз больше, чем яркость Солнца). Светящееся тело в лампах очень мало, что позволяет создавать осветительные приборы с узкими пучками, в частности, прожекторы дальнего действия.

В последние годы это свойство ксеноновых ламп открыло им широкую дорогу в автомобильной промышленности — сейчас часто встречаются автомобили с «ксеноновыми фарами». Следует сказать, что в таких фарах используются не ксеноновые лампы, а металлогалогенные лампы с ксеноновым наполнением. Световая отдача ксенонового разряда значительно меньше, чем у металлогалогенных ламп, которые не могут зажигаться мгновенно, что особенно важно в автомобильных фарах. Поэтому разряд сначала происходит в ксеноне, что сразу дает яркий узкий пучок света, а при разогреве горелок испаряются светящиеся добавки, и лампы работают уже не как ксеноновые, а как металлогалогенные, с большей световой отдачей. Именно поэтому на улицах днем стали встречаться автомобили с включенными фарами, работающими в дежурном режиме.

Характерная особенность ксенонового разряда — исключительно хорошая цветопередача (R_a= 95 – 98). Это обусловило основные

области применения шаровых ксеноновых ламп — кинопроекционные аппараты и кино-; телесъемочное освещение. Однако в последние годы в киносъемочных прожекторах чаще применяют металлогалогенные лампы, имеющие в несколько раз большую световую отдачу.

Шаровые ксеноновые лампы работают только на постоянном токе и, как правило, только в одном рабочем положении (вертикально, анодом вверх). Для поджига шаровых ксеноновых ламп, в том числе и автомобильных, требуется напряжение в десятки киловольт.

4.4. Светодиоды

Электрические источники света появились более 130 лет назад, и за все эти годы люди использовали два типа источников света — тепловые и газоразрядные. И только в самом конце 20-го века появился третий тип электрических источников света — полупроводниковые источники света или ***светоизлучающие диоды*** (светодиоды).

В светодиодах используется принцип генерации света при прохождении электрического тока через границу полупроводникового и проводящего материалов. Прохождение электрического тока можно представить как поток электронов в определенном направлении, движущийся под действием напряжения между концами проводника. Проводящие материалы или проводники можно сравнить с каналом, по которому течет поток воды, а полупроводники — с порогом на пути потока. В одну сторону («сверху вниз») поток без проблем преодолевает порог, при этом даже выделяя какое-то количество энергии. Но чтобы заставить этот поток преодолеть порог в обратную сторону, надо затратить какое-то усилие, необходимое для подъема потока на высоту порога.

В полупроводниках электрический ток в одну сторону (в проводящем направлении) течет при приложении даже небольшого напряжения (как бы уклона в канале с водой), свободно преодолевая порог. В потоке воды энергия, выделяющаяся при преодолении порога, может вращать турбины, мельничные колеса и т. п. — все зависит от высоты порога и количества протекающей воды. Точно так же электроны при преодолении «энергетического порога» выделяют определенную энергию. Обычно эта энергия выделяется в виде тепла, но при определенных условиях может превращаться и в свет.

Факт свечения некоторых полупроводниковых материалов (вернее, границы между проводником и полупроводником) при прохождении электрического тока был замечен учеными очень давно (в 1920 году русским инженером А. Ф. Лосевым). Однако это свечение было очень слабым, и практического применения этот эффект долго не находил. В начале 60-х годов появились первые приборы, использу-

ющие этот эффект — индикаторные элементы со слабым красным, а через несколько лет и зеленым свечением. Приборы получили название светодиодов. В качестве полупроводникового материала в них использовались арсениды алюминия, индия и смеси этих веществ. Световая отдача светодиодов в те годы составляла не более 0,1 *лм/Вт* (в 100 раз меньше, чем у ламп накаливания), срок службы измерялся сотнями часов и, естественно, они даже не рассматривались как источники света в общепринятом понимании.

Положение коренным образом начало меняться в конце 80-х годов благодаря работам Ж. И. Алферова и других ученых, когда были созданы принципиально новые полупроводниковые материалы, позволившие сразу на несколько порядков увеличить мощность, яркость, световую отдачу и срок службы светодиодов. В новых материалах используются соединения индия, галлия, алюминия в различных сочетаниях. Светодиоды на основе этих материалов давали уже довольно яркий свет красного, зеленого, желтого и оранжевого цветов. В 1996 году японским специалистам из компании ***Nichia*** после двадцатилетних поисков удалось создать первые светодиоды с синим цветом излучения. Синий свет с помощью люминофоров стали превращать в желтый, дающий в комбинации с синим белый свет различных оттенков, и с 1997-98 гг. в разных странах одновременно стали появляться первые осветительные приборы, в которых светодиоды выполняли функции не индикаторных элементов, а именно источников света.

Сегодня светодиоды (иностранное обозначение — ***LED***, Lighting Emitted Diode) — наиболее развивающееся направление в области источников света. Сейчас созданы светодиоды практически всех цветов радуги — от красного до фиолетового, а также диоды, излучающие в инфракрасной области. К производству светодиодов приступили мировые лидеры в области источников света Osram и Philips и десятки более мелких фирм во всех развитых странах.

В настоящее время достигнуты следующие параметры светодиодов массового производства: световая отдача белых до 25 *лм/Вт* (выше, чем у ламп накаливания общего назначения и большинства галогенных ламп), красных и зеленых — более 30 *лм/Вт*; срок службы — 50000 часов. На лабораторных образцах белых светодиодов достигнута световая отдача 125 *лм/Вт*. Фирма Hewlett Packard сообщала о сроке службы светодиодов 1 миллион часов или 120 лет непрерывной работы! Несомненно, что светодиоды в ближайшие десятилетия смогут вытеснить с рынка и тепловые, и разрядные источники света. Типичное устройство светодиода показано на рис. 37.

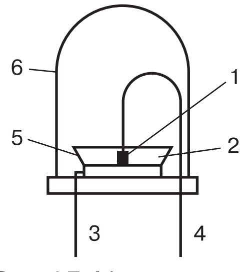


Рис. 37. Устройство светодиода

Основу светодиодов составляет полупроводниковый кристалл 1, расположенный на проводящей подложке 2. К кристаллу и подложке подводится электрическое напряжение через вводы 3 и 4. Кристалл окружен отражателем 5, направляющим свет в одну сторону. От внешних воздействий кристалл защищен корпусом 6 из прозрачной эпоксидной смолы или поликарбоната. Верхняя часть корпуса, как правило, делается в виде купола с определенной кривизной, и исполняет роль линзы, формирующей световой пучок. Иногда вместо купола делаются «линзы Френеля», то есть наборы концентрических микролинз на общем плоском основании.

Внутренний отражатель и корпус-линза формируют световой поток, излучаемый кристаллом, надлежащим образом, поэтому в светильниках со светодиодами не требуется применения какой-либо дополнительной оптической системы, как при «обычных» источниках света.

Для питания светодиодов нужен постоянный ток низкого напряжения, величина которого зависит от цветности излучения: у красных светодиодов это 1,9 – 2,1 *В*, у зеленых 2,5 – 3 *В*, у синих и белых — около 4-х *В*.

Основную массу выпускаемых в настоящее время светодиодов составляют светодиоды с куполообразным корпусом диаметром 5 *мм*. Их номинальный рабочий ток — 20 *мА*. Некоторые фирмы производят светодиоды диаметром 10 *мм* с рабочим током 40 *мА*. Наибольшая мощность отдельного светодиода сегодня — 5 *Вт*.

Кроме большого срока службы, светодиоды имеют много других достоинств: высокую надежность; очень высокую устойчивость к внешним воздействующим факторам (окружающей температуре, влажности, механическим нагрузкам); малые габариты; высокий коэффициент использования светового потока; легкую управляемость; полную экологическую безопасность из-за отсутствия ртути и стекла; безопасность обслуживающего персонала. Широкая цветовая гамма и разнообразие углов излучения (от 3^{o}, то есть очень узкого светового пучка, до 180^{o}, то есть равномерного свечения в полусфере) способствуют использованию светодиодов в различных световых приборах.

В настоящее время светодиоды используются, прежде всего, в светосигнальных приборах — автодорожных и железнодорожных светофорах, информационных табло, указателях и т.п. В последние годы многие фирмы в России и за рубежом начали делать настольные и переносные светильники с белыми светодиодами, а также применять светодиоды в аварийных светильниках.

В Москве почти все перекрестки в пределах Садового кольца, а также Ленинградский проспект, проспект Мира, Третье транспорт-

ное кольцо, МКАД и другие магистрали оснащены светофорами и дорожными указателями с использованием светодиодов. На Пушкинской площади, у гостиницы «Россия» и в некоторых других местах установлены большие (примерно 10 х 5 метров) светодиодные рекламно-информационные щиты, изображение на которых хорошо видно даже в солнечные дни.

В России несколько фирм (Корвет-Лайтс, ОПТЭЛ, Светлана-Оптоэлектроника, Протон) делают светодиоды, по качеству не уступающие зарубежным, а часто и превосходящие их. Например, Корвет-Лайтс первым в мире начал делать «полноцветные» светодиоды, в которых красные, зеленые и синие кристаллы объединены в одном корпусе, что позволяет получать практически неограниченное количество цветовых оттенков излучения одного светодиода. Эта же фирма первой в мире стала производить светодиоды в шестигранных корпусах, допускающих сплошной монтаж и создание больших равномерно светящихся поверхностей, а также светодиоды с плоскими линзами Френеля. В научно-производственном центре ОПТЭЛ изготавливаются мощные светодиоды и светодиодные сборки (модули) разных цветов, а также инфракрасные диоды.

Недостатками светодиодов являются: малая единичная мощность, приводящая к необходимости использования большого их количества для создания необходимых уровней освещенности; низкое напряжение питания, требующее включения светодиодов только со специальными понижающими трансформаторами и выпрямителями; довольно высокая цена, особенно белых и синих. Несомненно, что со временем все эти недостатки будут устранены.

5. АППАРАТУРА ВКЛЮЧЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Для включения любого типа газоразрядных ламп необходима специальная аппаратура, обеспечивающая зажигание разряда и стабилизацию тока. Сейчас выпускается довольно широкий ассортимент компактных люминесцентных ламп, в которых аппаратура включения объединена («интегрирована») с лампой в общую конструкцию, поэтому применение отдельных аппаратов не требуется. Во всех остальных случаях нужны отдельные балластные сопротивления, стабилизирующие ток разряда, и устройства для зажигания разряда.

В качестве балластных сопротивлений всегда используются дроссели — катушки, намотанные медным или алюминиевым изолированным проводом на сердечнике, собранном из лакированных пластин или ленты из специальных сортов электротехнической стали. Индуктивность дросселей рассчитывается так, чтобы сумма напряжений на дросселе и лампе (с учетом разности фаз) равнялась напряжению питающей сети.

Индуктивность дросселя определяется числом витков в катушке, типом применяемой стали для сердечника и величиной зазора в сердечнике. Как правило, пластины для сердечника делаются в виде буквы Ш и перемычки над ней или половинок буквы О. Катушки наматываются на литой или штампованный каркас из достаточно теплостойкой пластмассы. Наборы пластин вставляются в отверстие каркаса с двух сторон, а между ними прокладкой из электротехнического картона создается зазор строго определенной величины. При протекании по катушке переменного электрического тока сердечник перемагничивается с частотой тока. На это расходуется определенная энергия, которая тем меньше, чем тоньше пластины сердечника. Именно поэтому сердечники не делаются из цельных кусков стали, что было бы проще и дешевле, а набираются из отдельных пластин или ленты. Зазор между половинками сердечника необходим для того, чтобы исключить магнитное насыщение сердечника, приводящее к уменьшению индуктивности дросселя и, как следствие, к росту тока через лампу. Кроме потерь на перемагничивание, в дросселях неизбежны потери в проводах катушки, так как любой провод имеет какое-то сопротивление электрическому току.

Диаметр провода, которым наматывается катушка дросселя, выбирается на основании компромисса между двумя противоречивыми требованиями: чем больше диаметр, тем меньше потери мощности в катушке, но тем больше расход дорогой меди, то есть тем дороже и тяжелее дроссель. На практике диаметр провода выбирают таким, чтобы нагрев дросселя при работе не превышал заданной величины. На дросселях ставится контрольная точка «С», а в числе параметров дросселей указывается температура в этой точке, например, t_C = 130 ^{O}C. Это означает, что при нормальной работе светильника с таким дросселем температура на нем не будет выше указанной (в нашем примере 130 ^{O}C).

Потери мощности в дросселях составляют от 10 до 50 % от мощности лампы (чем больше мощность ламп, тем меньше доля потерь). За рубежом дроссели для люминесцентных ламп по уровню потерь делятся на три класса: класс D — «нормальные потери» (для ламп мощностью 18 *Вт* — до 30 %, 36 *Вт* — 25 %, 58 *Вт* — 20 %); класс С — «пониженные потери» (соответственно 25, 20 и 15 %); класс В — «особо низкие потери» (20, 15 и 12 %). С целью экономии электроэнергии и защиты окружающей среды решением Международной экономической комиссии Европейского Союза с декабря 2001 года производство дросселей класса D должно было прекратиться во всех странах Европейского Союза, а с конца 2005 года должно быть прекращено производство дросселей и класса С. В ГОСТ 19680 нет деления дросселей на классы по уровню потерь мощности. Опыт показывает, что все российские дроссели относятся к классу D. Исключение составляет лишь продукция нового предприятия ПРА ТО в г. Сергиев Посад Московской области, по уровню потерь мощности соответствующая европейскому классу С.

Перемагничивание дросселей при протекании через них переменного тока приводит еще к одному неприятному явлению — их «гудению». В соответствии с ГОСТ 19680 по уровню создаваемого шума дроссели для люминесцентных ламп делятся на 4 класса: Н — нормальный, П — пониженный, С — очень низкий, А — особо низкий. В таблице 14 приведены параметры дросселей для люминесцентных ламп производства фирмы Helvar (Финляндия).

Таблица 14

Параметры дросселей для люминесцентных ламп

Тип	Мощность лампы, Вт	Потери мощности, Вт	cos φ	Габариты, мм			Масса, кг
				L	B	H	
L18TL3	18/20	6,5	0,3/0,38	150	42	29	0,76
L36TL3	36/40	6,5	0,45	150	42	29	0,76
L58TL3	58/65	8,5	0,47	230	42	29	1,3
L11D	7/9/11	5,2/4,8/3,8	0,28/0,33/0,43	83	41,5	28	0,32

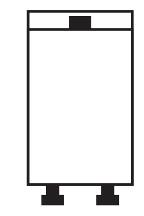


Рис. 38. Стартер

Крупнейшими производителями дросселей для люминесцентных ламп в Европе являются фирмы Vossloh Schwabe (Германия), Helvar (Финляндия), Tridonic.Atco (Австрия).

Для включения люминесцентных ламп, кроме дросселей, нужны стартеры. Стартеры во всех странах выпускаются в одном конструктивном исполнении — в виде цилиндра с двумя контактами на дне (рис. 38). Стартеры выпускаются на два номинальных напряжения сети: 110 – 130 *В* и 220 – 230 *В*. Параметры и качество стартеров импортного производства мало отличаются от российских показателей.

В 80-е годы ряд зарубежных фирм начал производство электронных стартеров, в которых вместо миниатюрной газоразрядной лампы с биметаллическими электродами была установлена электронная схема, обеспечивающая в комбинации с обычным дросселем прогрев электродов и подачу на лампу высоковольтного поджигающего импульса. Конструктивное исполнение таких стартеров и схемы их включения не отличались от традиционных. Особых преимуществ электронные стартеры не имеют, а цена их значительно выше. В связи с массовым производством электронных аппаратов включения люминесцентных ламп электронные стартеры сейчас не производятся.

Дроссельные схемы включения люминесцентных ламп создают сдвиг фаз между током и напряжением, что приводит к увеличению токовой нагрузки проводов, трансформаторных подстанций, выключателей. Для уменьшения угла сдвига фаз используются схемы компенсации (рис. 25). В подавляющем большинстве случаев используется схема параллельной компенсации (рис. 25,а). Емкость компенсирующего конденсатора определяется мощностью ламп (таблица 15).

Таблица 15

Емкости компенсирующих конденсаторов в мкФ

Мощность лампы, Вт	5/7/9/11	18/20	36/40	58/65
Параллельная компенсация (250 В)	2,0	4,5	4,5	7
Последовательная компенсация (480 В)	—	2,7	3,4	5,3

Как было показано в разделе 4.3.1., многие недостатки дроссельных схем включения люминесцентных ламп устраняются при использовании электронных аппаратов. В настоящее время в мире ежегодно производятся десятки миллионов таких аппаратов, причем имеется явная тенденция к увеличению объемов их производства. В Шве-

ции и Австрии доля светильников с электронными аппаратами уже превышает 50 %. Об особенностях работы электронных аппаратов и их достоинствах было рассказано выше.

Крупнейшими производителями электронных аппаратов в Европе являются ***Philips, Osram, Tridonic.Atco, Vossloh Schwabe, Helvar.*** Параметры аппаратов разных фирм мало отличаются друг от друга. Особо следует выделить аппараты Quiktronic-Multiwatt фирмы Osram и PC PRO T5 LP фирмы Tridonic.Atco, способные работать с лампами не одного, а нескольких номиналов мощности.

Практически все названные фирмы производят и аппараты, обеспечивающие регулирование светового потока ламп, то есть электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА) в полном смысле этого понятия. Кроме обеспечения наиболее комфортного освещения, ЭПРА позволяют создавать и системы автоматического управления освещенностью, дающие экономию электроэнергии до 75 %.

Параметры некоторых типов ЭПРА даны в таблице 16.

Таблица 16

Параметры электронных аппаратов включения люминесцентных ламп

Тип	Мощность лампы, Вт	Потери мощности, Вт	Габариты, мм			Масса, кг
			L	B	H	
EL1x18HF	18	3	280	30	28	0,27
EL1x36HF	36	4	280	30	28	0,27
EL1x58HF	58	6	280	30	28	0,27
EL2x18HF	2x18	4	360	30	28	0,34
EL2x36HF	2x36	6	360	30	28	0,34
EL2x58HF	2x58	10	360	30	28	0,34
EL3x18HF	3x18	7	430	30	28	0,40
EL4x18HF	4x18	10	430	30	28	0,40
EL1x14HFT5	14	3	280	30	28	0,27
EL1x21HFT5	21	3	280	30	28	0,27
EL1x35HFT5	35	3	280	30	28	0,27
EL2x14HFT5	2x14	4	360	30	28	0,34
EL3x14HFT5	3x14	8	430	30	28	0,40
PC1/14-21-28-35T5 PRO	1x14/21/28/35	3-4	350	30	28	0,28
PC2/14-21-28-35T5 PRO	2x14/21/28/35	5-8	350	30	28	0,36

Коэффициент мощности всех аппаратов не менее 0,95.

Для включения ламп типа ДРЛ требуются только дроссели. Как и в дросселях для люминесцентных ламп, в дросселях для ДРЛ теряется определенная мощность (10 – 15 % от мощности лампы), а для компенсации сдвига фаз между током и напряжением необходимо включение компенсирующих конденсаторов. При этом используется только параллельная компенсация. Усредненные пара-

метры дросселей даны в таблице 17, компенсирующих конденсаторов — в таблице 18.

Таблица 17

Параметры дросселей для ламп ДРЛ

Мощность лампы, Вт	Потери мощности, Вт	cos φ	Габариты, мм			Масса, кг
			L	B	H	
80	11	0,45	120	85	90	1,9
125	15	0,53	120	85	90	3,0
250	22	0,53	145	135	100	4,0
400	25	0,53	175	140	150	6,5

Таблица 18

Емкости компенсирующих конденсаторов в мкФ для ламп ДРЛ, НЛВД, МГЛ

Мощность лампы, Вт	70/80	100/125	150	250	400
Емкость для ДРЛ	8	10	-	18	25
Емкость для НЛВД	12	12	20	32	45
Емкость для МГЛ	12	12	20	32	35

При включении металлогалогенных ламп (МГЛ) и натриевых ламп высокого давления (НЛВД), кроме дросселей, необходимо использование зажигающих устройств, дающих на лампу импульсы с напряжением 2 – 5 *кВ*. Такие устройства называются ИЗУ (импульсные зажигающие устройства) и представляют собой полупроводниковые генераторы высокочастотных импульсов высокого напряжения. Схема включения таких ламп была показана на рис. 33. В таблице 19 приводятся параметры зажигающих устройств производства фирмы ***Helvar*** (Финляндия). На рис. 39 показаны образцы ИЗУ.

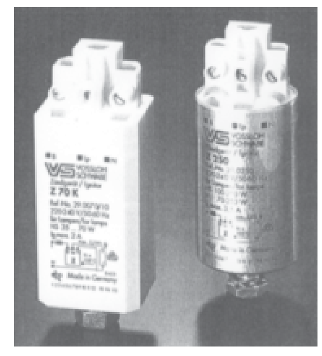


Рис. 39. Типы импульсных зажигающих устройств

Таблица 19

Параметры ИЗУ

Тип	Мощность ламп, Вт	Макс. ток, А	Напряжение импульса, кВ	Потери, Вт	Габариты, мм			Масса, кг
					L	B	H	
L-70	35-70	1	1,9-2,3	1	88	34	28	0,105
L-150	35-150	1,8	3,5-4,5	1	88	34	28	0,128
L-250	70-250	3	4,0-4,5	2,5	92	39	33	0,150
L-400	70-400	6	4,0-4,5	3	95	42	36	0,200
L-1000	70-1000	12	4,0-4,5	6	108	55	43	0,450

В таблицах 20 и 21 даны параметры дросселей для НЛВД и МГЛ.

Таблица 20

Параметры дросселей для НЛВД

Мощность лампы, Вт	Потери, Вт	cos φ	Габариты, мм			Масса, кг
			L	B	H	
70/50	14/9	0,39	111	66	53	1,5
100	16	0,43	111	66	53	1.5
250	28	0,42	135	70	85	3,15
400	32	0,40	165	70	85	4,3
1000	55	0,43	196	105	90	10,0

Таблица 21

Параметры дросселей для МГЛ

Мощность лампы, Вт	Потери, Вт	cos φ	Габариты, мм			Масса, кг
			L	B	H	
70	14,2	0,39	111	66	53	1,5
100	16	0,43	111	66	53	1,5
150	19,5	0,42	133	66	53	2,0
250	28	0,42	135	85	70	3,15
400	29	0,50	135	85	70	3,18

В обозначениях дросселей указывается тип лампы, мощность, условное обозначение конструктивного исполнения.

В последние годы началось довольно широкое внедрение электронных аппаратов включения разрядных ламп высокого давления, совмещающих функции зажигающего устройства и дросселя. Как было сказано выше, такие аппараты обеспечивают питание ламп током прямоугольной формы с частотой 100 – 150 *Гц*, что приводит к значительному снижению глубины пульсаций светового потока и улучшению некоторых параметров ламп (срока службы и световой отдачи). За рубежом такие аппараты выпускаются только для ламп небольшой мощности (до 150 *Вт)*. На последней выставке «Интерсвет-2003» в Москве появились электронные аппараты включения ламп мощностью до 600 *Вт* (российская фирма DECSY и белорусский завод ЭНЭФ).

6. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Все применяемые при изготовлении осветительных приборов (ОП) материалы можно разбить на три группы: светопропускающие, светоотражающие и конструкционные.

6.1. Светопропускающие материалы

Светопропускающие материалы используются для изготовления линз, рассеивателей, защитных стекол, колпаков и т.п.

По типу исходного сырья светопропускающие материалы делятся на силикатные и органические. Силикатные материалы — это обычное стекло всех сортов, хрусталь, кварц, основной составляющей которых служит двуокись кремния SiO_2, то есть обычный чистый песок. К органическим светопропускающим материалам относятся светотехнические бумаги и ткани, а также полиметилметакрилат, полистирол, полиэтилен, поликарбонат, поливинилхлорид, полиэтилентерефталат и другие, получаемые, как правило, синтетическим путем.

Основным параметром светопропускающих материалов является коэффициент пропускания τ — отношение светового потока, прошедшего сквозь материал, к световому потоку, упавшему на него. Коэффициент пропускания для бесцветных материалов указывается обычно в виде интегральной величины (соотношения световых потоков во всем видимом участке спектра 400 – 700 *нм*). Для цветных материалов приводятся спектральные коэффициенты пропускания в виде кривых зависимости τ от длины волны.

Важным параметром светопропускающих материалов является коэффициент преломления, показывающий, как изменяется направление луча света на границе воздуха и материала. Чем больше коэффициент преломления, тем более блестящим кажется материал и тем больше возможностей он предоставляет для управления распределением света.

Как было сказано в разделе 2, пропускание может быть направленным, рассеянным, направленно-рассеянным или смешанным. Распределение коэффициента пропускания в пространстве характеризуется специальными кривыми — индикатрисами.

К другим параметрам светопропускающих материалов относятся их плотность (удельный вес), пожароопасность, технологичность

(температура и способ переработки и др.), твердость, устойчивость к воздействию химически активных веществ и растворителей.

Силикатные материалы характеризуются, прежде всего, абсолютной негорючестью, поэтому они могут применяться в ОП с любыми источниками света. Их коэффициент преломления может изменяться в достаточно широких пределах за счет введения в состав стекла солей различных металлов, прежде всего свинца. Стекло с высоким содержанием свинца и большим коэффициентом преломления получило название хрусталя или хрустального стекла и широко используется в производстве дорогих декоративных ОП для представительских помещений и быта (хрустальные люстры и т.п.).

Силикатные материалы очень тверды (не уступают большинству сортов стали и значительно превосходят алюминий и его сплавы). Стекла достаточно легко окрашиваются в самые различные цвета, и окраска их очень устойчива к воздействию света, тепла и времени. По химической стойкости силикатные материалы превосходят большинство известных веществ и поэтому ОП с ними могут применяться в производственных помещениях с самой агрессивной средой. Также устойчивы эти материалы и ко всем растворителям. По теплоустойчивости силикатные материалы значительно превосходят все органические.

К недостаткам силикатных светопропускающих материалов относятся, прежде всего, их неустойчивость к ударным нагрузкам (хрупкость). Для повышения удароустойчивости применяют специальный метод обработки — закаливание стекла. Как правило, в ОП с галогенными линейными лампами накаливания и мощными разрядными лампами применяются только закаленные стекла. Другие недостатки — довольно большая плотность (не менее 2,5 $г/см^3$), делающая изделия из этих материалов тяжелыми; сложность механической обработки; очень высокая стоимость многих цветных и хрустальных стекол и чистого кварца.

Силикатные светопропускающие материалы достаточно технологичны. Температура размягчения большинства стекол не превышает 1000 ^oC, кварца — 1500 ^oC. В размягченном или расплавленном виде силикатные материалы поддаются штамповке, прокатке, выдуванию, литью, прессованию.

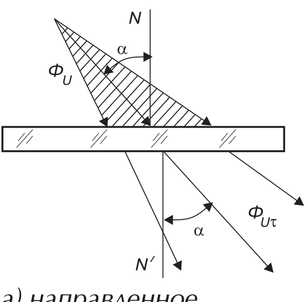
Стекла в исходном виде прозрачны и бесцветны и поэтому могут использоваться в ОП в качестве линз, призматических рассеивателей или просто для защиты источников света и элементов конструкции от воздействия воды, агрессивных паров и т.п.

Однако часто бывает нужно не просто перераспределить световой поток, но и понизить яркость видимых частей источников света, а

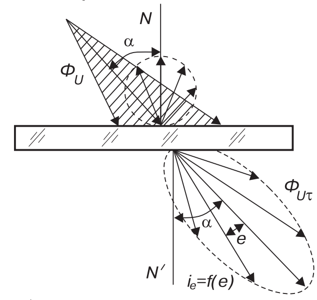
это возможно только за счет применения материалов с ненаправленным характером пропускания.

Для получения таких стекол в них при варке вводят соли различных металлов. Стекло, оставаясь бесцветным, становится не прозрачным, а светорассеивающим материалом. Светорассеивающие стекла получили название «глушеных». В зависимости от степени рассеяния света глушеные стекла делятся на опалиновые (слабое рассеяние, заметная доля направленного пропускания), опаловые (средняя степень рассеяния; при наблюдении через такое стекло лампы накаливания слабо видна только нить накала) и молочные — полное рассеяние света (рис. 40).

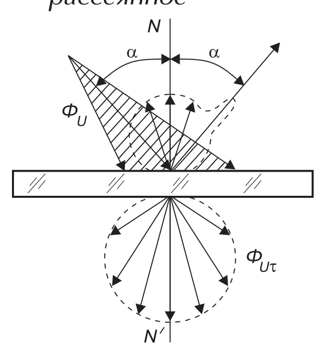
Достоинства и недостатки силикатных материалов определяют области их применения. Плоские закаленные прозрачные стекла используются в качестве защитных элементов во всех ОП прожекторного типа с линейными галогенными лампами накаливания и мощными разрядными лампами. Призматические рассеиватели широко применяются в уличных светильниках как функционального, так и декоративного назначения. Стеклянные линзы (сплошные или наборные, так называемые линзы Френеля) — неотъемлемая часть всех проекторов, световых маяков, некоторых переносных светильников. Элементы из хрусталя, как уже было сказано, — основа многих декоративных ОП для бытовых, представительских, зрелищных и других помещений. Цветные стекла широко используются в ОП проекторного типа для создания декоративных эффектов в шоу-программах и т.п. Глушеное (чаще всего молочное) стекло — основа большинства бытовых светильников. Чистый кварц благодаря его высокой прозрачности в ультрафиолетовой области спектра используется при создании облучательных установок для обеззараживания воды и воздуха.



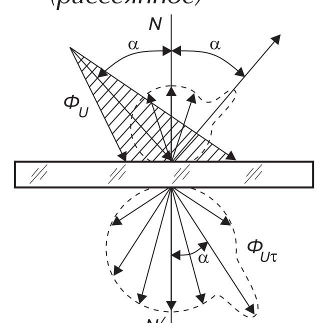
а) направленное



б) направленно-рассеянное



в) диффузное (рассеянное)



г) смешанное

Рис. 40. Индикатрисы пропускания

Во многих случаях силикатные материалы являются безальтернативными в создании ОП. Однако в ряде ОП, в частности, в светильниках с люминесцентными лампами, в последние десятилетия широко применяются и органические светопропускающие материалы.

К достоинствам органических светопропускающих материалов необходимо отнести их большую устойчивость к ударным нагрузкам, меньшую плотность, возможность механической обработки, часто — меньшую стоимость. К органическим относятся полимерные (синтетические) светопропускающие материалы, а также светотехнические бумаги и ткани. Так как бумаги и ткани используются в производстве только бытовых светильников, далее о них говорить не будем.

Все полимерные материалы делятся на термореактивные и термопластичные. Термореактивные материалы — это такие, которые при нагревании переходят в неплавкое и нерастворимое состояние и не подлежат повторной переработке. К таким материалам относятся, например, карболит, эпоксидные смолы, стеклопласты, используемые в светотехнической промышленности как конструкционные. Термопластичные материалы не теряют способности плавиться или растворяться после их нагревания и поэтому допускают вторичную переработку. К этому классу относятся практически все светопропускающие материалы.

В таблице 22 приведены физические параметры наиболее распространенных светопропускающих полимерных материалов и стекла (данные взяты из книг В. И. Долгополова «Светотехнические материалы», Энергия, 1972; Ю. Ф. Мельникова «Светотехнические материалы», Высшая школа, 1976 и А. Г. Гальченко «Современные полимерные светотехнические материалы», Дом Света, Москва, 2000).

Таблица 22

Основные характеристики светопропускающих материалов

Материал	Плотность, г/см^3	Коэффициент пропускания	Ударная вязкость, кДж/м^2	Твёрдость, Н/мм^2	Теплостойкость, °С
ПММА	1,19	0,92	10-12	190	90-105
ПС	1,05	0,90	10	180	95-97
СПС-УФ	1,05	0,60	40	150	90
ПК	1,2	0,90	130-150	120	150
ПЭ	0,95	0,75	-	50	90
ПП	0,9	0,75	-	60-65	90
ПЭТФ	1,27	0,90	-	150	75
Стекло	2,3-2-7	0,92	-	-	600-800

ПММА — полиметилметакрилат;

ПС — полистирол;

СПС-УФ — светостабилизированный полистирол;
ПК — поликарбонат;
ПЭ — полиэтилен;
ПП — полипропилен;
ПЭТФ — полиэтилентерефталат.

Все полимерные материалы значительно легче стекла — плотность большинства из них близка к 1 $г/см^3$. Ряд материалов (поликарбонат, полипропилен) значительно превосходят стекло по устойчивости к ударным нагрузкам.

Общим недостатком всех полимерных материалов является их низкая устойчивость к свету и, особенно, к ультрафиолетовому излучению. Под действием света большинство материалов желтеет и становится более хрупкими. Для повышения устойчивости к свету в полимеры вводят различные светостабилизирующие добавки, которые повышают стоимость материалов, а иногда снижают коэффициент пропускания. В настоящее время при изготовлении светильников применяются почти исключительно светостабилизированные полимерные материалы.

Другим общим свойством для всех синтетических материалов служит их старение, то есть постепенное ухудшение светотехнических и механических параметров. Если стекло может сохранять свои параметры в течение столетий, то срок службы полимерных материалов редко превышает 10 лет. Еще одним неприятным свойством полимеров является их горючесть. Кроме поликарбоната, все прозрачные полимеры являются горючими материалами. Поликарбонат относится к трудновоспламеняемым и самозатухающим материалам; он горит до тех пор, пока находится в пламени других веществ, а при выносе из пламени — гаснет.

Достоинством полимерных материалов является их более высокая технологичность по сравнению со стеклом. Все эти материалы перерабатываются при значительно меньших температурах, чем стекло и особенно кварц.

Наиболее распространенным способом переработки полимеров является экструзия — продавливание расплавленных материалов сквозь щели различной формы. Таким методом изготавливаются рассеиватели для светильников с люминесцентными лампами самого разного профиля и любой длины. Широко распространены также методы вакуумного формования и штамповки из листов. Изделия сложной формы и толстостенные изделия делаются литьем под давлением или выдувом.

Все полимерные материалы хорошо свариваются или склеиваются, поддаются различным видам механической обработки.

Низкая теплоустойчивость полимерных материалов делает невозможным использование их в ОП с галогенными лампами накаливания и мощными разрядными лампами. Основная область применения таких материалов — светильники с люминесцентными лампами и некоторые бытовые светильники с лампами накаливания. В производстве светильников с люминесцентными лампами полимерные светопропускающие материалы в настоящее время являются практически единственным типом материалов для изготовления рассеивателей. Наиболее распространен здесь ***полиметилметакрилат***, известный также под названиями «органическое стекло», «плексиглас», «акрил». Кроме этого, для изготовления рассеивателей используется ***полистирол*** (стабилизированный), реже — ***полипропилен***. ***Поливинилхлорид*** используется для изготовления штампованных рассеивателей, экранирующих решеток.

Особое место среди полимерных светопропускающих материалов занимает ***поликарбонат*** (иностранные названия макролон, лексан). Он имеет большую теплоустойчивость, чем другие прозрачные полимеры (до 150 ^{o}C), менее пожароопасен (самозатухает), а главное — значительно превосходит все другие материалы по устойчивости к ударным нагрузкам. Поэтому поликарбонат применяют при изготовлении так называемых «антивандальных» светильников, которые используются для освещения подъездов, лестничных клеток и лифтов в жилых домах, в подземных пешеходных переходах, для садово-паркового освещения — то есть в местах, где светильники могут подвергаться нарочитому разрушению. Кроме этого, поликарбонат используется для изготовления рассеивателей и защитных колпаков в ОП с высокой степенью защиты (IP54, IP65), применяемых для освещения производственных помещений. Широкому внедрению этого материала мешает его высокая стоимость (в 3 – 4 раза дороже полистирола), а также большая трудоемкость изготовления изделий из него.

Полимерные светопропускающие материалы, как и стекло, могут иметь различный характер светопропускания. Из материалов с направленным пропусканием делают призматические рассеиватели; с диффузным и направленно-диффузным пропусканием — опаловые или молочные рассеиватели.

При оценке применимости типов рассеивателей необходимо иметь в виду, что призматические рассеиватели обеспечивают большие КПД светильников, но практически не уменьшают яркость источников света.

6.2. Светоотражающие материалы

Светоотражающие материалы используются для изготовления отражателей и перераспределения светового потока источников све-

та путем отражения его в нужных направлениях. По характеру распределения отраженного света различают зеркальное (направленное), направленно-рассеянное, рассеянное (диффузное) и смешанное отражение (рис. 5).

Важнейшими параметрами светоотражающих материалов являются коэффициент отражения ρ, кривая пространственного распределения отраженного света (индикатриса), а для цветных материалов еще и спектральное распределение коэффициента отражения. Цветные материалы при изготовлении ОП не используются, поэтому далее о них говорить не будем.

Материалы с зеркальным и направленно-рассеянным отражением — это металлы с различной обработкой поверхности или металлические покрытия на неметаллических поверхностях (в конечном счете, также металлы). Диффузным характером отражения обладают ткани, бумага неглянцевых сортов, многие эмали и краски. Смешанный характер отражения присущ стеклоэмалям (силикатным эмалям) и белым материалам с блестящей поверхностью (глушеное стекло, глушеные полимерные материалы, глянцевая бумага и другие).

Зеркальное отражение позволяет наиболее гибко и точно перераспределять световой поток источников света, формируя, таким образом, требуемую кривую сил света (КСС). Из чистых металлов наибольший коэффициент отражения имеет серебро — до 0,92. Однако из-за дороговизны его применяют только для покрытия стеклянных отражателей некоторых типов прожекторов и оптических приборов.

В светотехнической промышленности фактически единственным материалом с зеркальным отражением является алюминий. Коэффициент отражения чистого алюминия при очень тщательной полировке поверхности может быть выше 0,8; однако чистый алюминий на воздухе быстро окисляется и тускнеет. Поэтому необходима защита алюминия от прямого контакта с воздухом. Способов защиты алюминия от окисления достаточно много.

Наиболее распространенными из таких способов являются альзакирование и анодирование или электрохимическое полирование (иногда называемое объярчением). ***Альзакирование*** — это нанесение тонкой пленки двуокиси кремния на алюминиевую поверхность. Такая пленка, немного снижая коэффициент отражения, надежно защищает алюминий от воздействия воздуха и одновременно делает его поверхность более твердой. ***Анодирование*** или ***электрохимическое полирование*** — это обработка алюминиевой поверхности в растворах ортофосфорной кислоты, хромового ангидрида и других химических веществ при одновременном воздействии электрического тока. В результате такой обработки поверхность алюминия дела-

ется гладкой (отполированной) и блестящей. Под действием электрического тока на поверхности алюминия образуется тончайший слой окиси алюминия, предотвращающий ее дальнейшее окисление и потускнение.

Чем чище алюминий, тем выше его коэффициент отражения. Но чистый алюминий — это очень мягкий и достаточно дорогой материал. Поэтому чаще для изготовления отражателей используются более твердые и дешевые материалы (алюминиевые сплавы, сталь, пластмассы, для особо точных — стекло), на которые наносится тонкий слой особо чистого алюминия с последующей его защитой. Чаще всего алюминий наносится путем распыления в вакууме, а для нанесения защитного слоя используют двуокись кремния, распыляемую на той же установке после создания слоя алюминия.

Для получения чисто зеркального отражения поверхность, на которую наносится слой алюминия, должна быть хорошо отполирована. Если поверхность подложки шероховата, то характер отражения будет направленно-рассеянным, причем, чем больше шероховатость, тем более рассеянным будет отражение.

В настоящее время ряд фирм за рубежом (Alanod в Германии, Saccal в Италии) освоил промышленное производство листового алюминия с «готовой» поверхностью с уже напыленным слоем алюминия исключительно высокой чистоты (99,95 %), защищенным тончайшими слоями двуокисей кремния и титана. При этом толщина защитных слоев подбирается так, чтобы свет, отраженный от передней (обращенной к воздуху) и задней (обращенной к алюминию) поверхностей пленки находился в противофазе и как бы гасился за счет интерференции. Подобная технология (просветление оптики) уже много лет применяется в оптической промышленности — хорошо известны фотоаппараты с так называемыми «голубыми объективами», имеющими значительно больший коэффициент пропускания, чем аналогичные объективы с чистыми (непросветленными) линзами. Применение таких интерференционных покрытий и чистейшего алюминия позволило довести коэффициент отражения до 0,95 (листы марки Miro немецкой фирмы Alanod).

Так как основой таких листовых материалов служит не чистый алюминий, а алюминиевый сплав с хорошими механическими свойствами, из них можно гнуть очень точные отражатели с достаточной формоустойчивостью.

Листы светотехнического алюминия выпускаются не только с зеркальным, но и с направленно-рассеянным отражением с различной степенью рассеяния, а также тонированные в розовый или золотистый цвета. Для защиты отражающей поверхности от повреждения во время транспортировки и обработки лицевая сторона листов покры-

вается полимерной пленкой, которая легко снимается с уже готовых отражателей.

Недостатками листового светотехнического алюминия типа Alanod являются невозможность использования его для изготовления отражателей сложной формы из-за неизбежного повреждения защитного слоя при глубокой вытяжке и достаточно высокая стоимость. Однако в производстве светильников с линейными люминесцентными лампами этот материал находит все большее распространение для изготовления отражателей и элементов зеркальных экранирующих решеток.

Для получения материалов с диффузным (рассеянным) отражением используются различные эмали и краски на основе белых пигментов — окиси цинка, двуокиси титана, сернокислого бария и др. Эмали или краски наносятся на поверхность отражателей распылением струей сжатого воздуха или электростатическим полем. Коэффициент отражения хороших эмалей — не ниже 0,85.

В светильниках с мощными лампами часто применяются стеклоэмали, имеющие смешанный характер отражения, — с зеркальной и диффузной составляющими. В таких материалах при малых углах падения света преобладает диффузный характер отражения ($\rho_{зерк} \leq$ 7 %, $\rho_{диф} \geq 50 - 65$ %). При больших углах падения зеркальное отражение увеличивается, а диффузное — уменьшается. При этом суммарный коэффициент отражения возрастает примерно с 60 до 85 %. Эту особенность материалов со смешанным отражением необходимо учитывать при разработке светильников.

Стеклоэмали наносятся чаще всего на поверхность стальных отражателей, которые одновременно являются и корпусами светильников. Стеклоэмалевые покрытия характеризуются высокой теплоустойчивостью, химической стойкостью, механической прочностью (допускают многократную протирку и мойку). Поэтому основная область применения светильников с отражателями, покрытыми стеклоэмалью, — освещение производственных помещений.

6.3. Конструкционные материалы

Эти материалы не выполняют какие-то светотехнические функции, а служат лишь для создания конструкций ОП. Поэтому к классу конструкционных могут быть отнесены практически все металлы, термореактивные полимеры, некоторые термопластичные полимеры.

Наиболее распространенными конструкционными материалами в светотехнической промышленности являются алюминиевые сплавы, листовая сталь, поликарбонат, полиамид (капрон). Для изготовления электроустановочных изделий (патронов, клеммных колодок,

розеток, выключателей и т.п.) широко используется керамика, а из полимерных материалов — термореактивные смолы на основе фенолформальдегидных соединений; полибутилентерефталат; поликарбонат; полиамид.

В последние годы все более широкое распространение в качестве конструкционных материалов получают полиэфирные смолы и поликарбонат.

Полиэфирные смолы, в иностранной документации обычно называемые «полиэстер», чаще используются для изготовления корпусов светильников с люминесцентными лампами. Этот материал ударопрочен, химически стоек, может окрашиваться в массе в различные цвета. Для повышения механической прочности и теплоустойчивости в полиэфирные смолы часто добавляют стекловолокно. Изделия из полиэфирных смол делаются методом литья под давлением. Поверхность таких изделий имеет вполне эстетичный вид и не требует дополнительной декоративной окраски.

Поликарбонат, окрашенный в массе, используется в качестве конструкционного материала и в светильниках с разрядными лампами мощностью до 400 *Вт*.

7. ЭЛЕКТРОУСТАНОВОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

К электроустановочным изделиям относятся патроны для ламп и стартеров, клеммные и соединительные колодки для подключения дросселей, зажигающих устройств, ламп и сетевых проводов внутри светильников, выключатели и переключатели, розетки и вилки для включения переносных светильников и других устройств в электрическую сеть. Сюда же можно отнести различные клипсы, ламподержатели и другие детали светильников, не выполняющие никаких электрических функций, но обеспечивающие фиксацию ламп в нужном положении, защиту их от выпадения и т.п.

Важнейшей эксплуатационной характеристикой электроустановочных изделий служит их работоспособность, то есть обеспечение надежного контакта источников света и аппаратов включения в течение всего срока службы. Надежность изделий обеспечивается их конструкцией и выбором материала для изготовления токоведущих и изолирующих деталей. Изолирующие детали, как правило, выполняют также функции конструктивных элементов, с помощью которых изделия крепятся к местам их установки.

Главное требование к изолирующим деталям — обеспечение электрической безопасности людей и пожарной безопасности помещений. Так как источники света при работе могут нагреваться до высоких температур, изолирующие материалы должны быть достаточно термостойкими. В патронах для галогенных ламп накаливания, металлогалогенных и натриевых ламп чаще всего используется керамика, способная работать при температурах выше 300 ^{o}C. Патроны для люминесцентных ламп и стартеров в настоящее время делаются из термопластичных смол — поликарбоната, полибутилентерефталата, полифениленсульфида. При изготовлении патронов для обычных ламп накаливания до недавнего времени основным материалом был карболит — термореактивная смола на основе фенолформальдегида. Теперь использование карболита не рекомендуется по экологическим соображениям. Сейчас основным материалом при изготовлении патронов для ламп накаливания с резьбовыми цоколями Е14 и Е27 стали другие термореактивные полимеры.

Основным изолирующим материалом клеммных и соединительных колодок в настоящее время является поликарбонат, а также термореактивные стеклопластики.

Токоведущие детали в патронах делаются из металлов, обладающих довольно высокой упругостью и не теряющих этой упругости во всем диапазоне рабочих температур, а также после многократной установки и вынимания ламп. Обычно это латунь, реже никель. Для защиты от коррозии латунные детали иногда покрывают слоем другого металла, более устойчивого к воздействию воздуха и содержащихся в нем паров воды или химических соединений — олова, цинка, никеля. В патронах для линейных галогенных ламп накаливания и двухцокольных металлогалогенных ламп, как правило, делают серебреные контакты.

В последнее время колодки резьбового типа (с зажимом провода гайкой и шайбой) применяются только для подключения мощных источников света и аппаратов включения. В дросселях и электронных аппаратах включения люминесцентных ламп применяются соединительные колодки «врубного» типа, в которые провод просто вставляется, а его зажим и надежный контакт обеспечиваются конструкцией контактного узла. Это значительно снизило трудоемкость сборки светильников и позволило автоматизировать эту операцию.

Клипсы, поддержки и другие элементы для фиксации ламп в светильниках сейчас делаются преимущественно из поликарбоната.

Крупнейшие производители электроустановочных изделий — фирмы BJB (Германия), Vossloh Schwabe (Германия), Stucci (Италия). К сожалению, в России электроустановочные изделия, соответствующие современному мировому уровню, не производятся.

8. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Осветительные приборы (ОП) — это устройства, перераспределяющие световой поток источников света в пространстве требуемым образом. По общепринятой классификации все ОП делятся на три класса: светильники, прожекторы и проекторы.

Проекторы — это ОП, концентрирующие световой поток источника света на определенной четко ограниченной площади или в определенном объеме. Наиболее распространенный вид таких ОП — это известные всем кинопроекторы, создающие заданную освещенность только на определенной площади экрана. Как правило, в проекторах используются сложные оптические системы, обеспечивающие не только необходимые уровни и равномерность освещенности по всей заданной поверхности, но и предельно четкую передачу изображений (их «проекцию») из одного места в другое с изменением масштаба. Кроме кинотеатров, проекторы используются для демонстрации различных иллюстраций во время публичных выступлений, для создания статичных или динамичных световых эффектов (очень распространенное явление при оформлении эстрадных концертов, дискотек и т.п.). Для целей освещения в обычном понимании этого слова ОП проекторного типа не используются и поэтому далее не рассматриваются.

Прожекторы и светильники — это световые приборы, предназначенные для освещения определенных объектов как внутри, так и вне помещений.

Прожекторами обычно называются ОП, сосредотачивающие световой поток источников света в достаточно малых телесных углах и освещающие объекты, находящиеся от ОП на расстояниях, значительно превышающих размеры самих ОП. ***Светильники*** — это ОП, в которых световой поток источников света распределяется внутри больших телесных углов. Как правило, светильники освещают поверхности или предметы, находящиеся от них на достаточно близких расстояниях, соизмеримых с размерами самих светильников.

Граница между прожекторами и светильниками весьма условна. Часто один и тот же прибор может быть отнесен как к светильникам, так и к прожекторам. Например, «прожекторы» для архитектурного освещения по их светотехническим характеристикам чаще всего являются не прожекторами, а именно светильниками, а «карманные

фонарики» (ручные светильники) — это типичные ОП прожекторного типа, то есть действительно прожекторы.

Рассмотрим характерные особенности ОП, их параметры, классификацию по различным признакам, области применения.

8.1. Параметры осветительных приборов

Сегодня в мире ежегодно производятся сотни миллионов ОП, а количество их типов исчисляется тысячами. Как же из этого множества правильно выбрать такой прибор, который наилучшим образом соответствовал бы предъявляемым к нему требованиям?

Прежде всего, необходимо понимать, по каким параметрам следует сравнивать различные ОП. Рассмотрим эти параметры.

8.1.1. Светотехнические параметры осветительных приборов

Любой ОП — это устройство, перераспределяющее в пространстве световой поток источника света. Обычно источники света излучают его во всех направлениях, а нам часто надо осветить какое-то конкретное место, например, рабочий стол. В этом случае полезным является световой поток, попадающий на нужное место (рабочий стол), а остальной — практически бесполезным. Таким образом, можно говорить о ***коэффициенте полезного действия*** (кпд) ОП. Так как задача любого ОП — это перераспределение светового потока источника света требуемым образом, то под кпд ОП принято понимать отношение светового потока, выходящего из ОП, к световому потоку источника света:

$$кпд = \Phi_{оп}/\Phi_{ис} .$$

Однако очевидно, что далеко не весь световой поток, выходящий из ОП, попадает на нужное место — обычно большая его часть уходит «на сторону», освещая стены, потолок, но не заданную площадь. Для того чтобы оценить долю светового потока, попадающую на нужное место, необходимо знать характер распределения светового потока, вышедшего из ОП, в пространстве. Этот характер светораспределения описывается с помощью кривых сил света, являющихся важнейшим параметром любого ОП.

Кривая сил света (КСС) ОП — это графическое изображение зависимости силы света прибора от направления распространения света. Обычно КСС изображаются в полярных координатах (рис. 41,а), однако для ОП с очень малыми углами излучения иногда используется и прямоугольная система координат (рис. 41,б). Для удобства пользования в каталогах ОП приводятся условные КСС, рассчитан-

ные для источника света со световым потоком 1000 *лм*. Реальная сила света ОП определяется для любого источника света, установленного в данный прибор, с помощью простого соотношения:

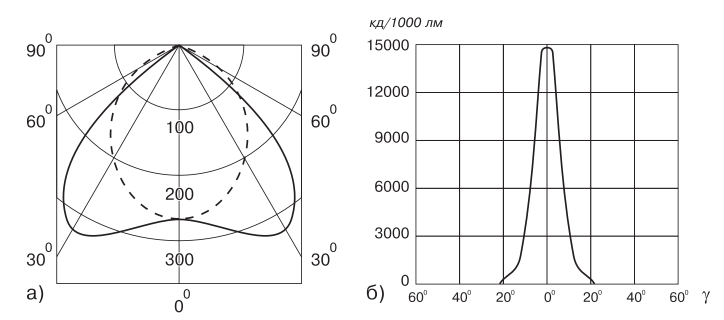


Рис. 41. Примеры кривых сил света в полярных (а) и прямоугольных (б) координатах

$$I_{ОП\ реал} = I_{ОП\ 1000}\ \Phi_{ис} / 1000\ .$$

Если ОП многоламповый, то $\Phi_{ис}$ — это сумма световых потоков всех ламп.

Кривые сил света ОП с компактными одноцокольными источниками (лампы накаливания, ДРЛ), как правило, одинаковы во всех плоскостях, проходящих через оптическую ось прибора, то есть через условную прямую линию, проведенную через световой центр прибора перпендикулярно плоскости его выходного окна. А световой центр ОП — это точка внутри прибора, в которой находится источник света, если его размеры малы по сравнению с размерами ОП, или центр источника света, если он достаточно велик.

В ОП с двухцокольными источниками света (линейные люминесцентные лампы, линейные ГЛН, МГЛ софитного типа) или с одноцокольными источниками, имеющими вытянутую форму (КЛЛ, НЛВД и НЛНД, МГЛ) и расположенными не вдоль оси оптического прибора, КСС различны в разных плоскостях. В каталогах для таких ОП даются две КСС — в главной продольной и главной поперечной плоскостях. Продольная плоскость — это плоскость, проходящая через продольную оптическую ось ОП; поперечная плоскость — это плоскость, перпендикулярная продольной оптической оси ОП. Очевидно, что таких плоскостей — множество, поэтому выделяют главные плоскости, которые проходят через центр источника света перпендикулярно выходному окну ОП (рис. 42). При круглосимметричном

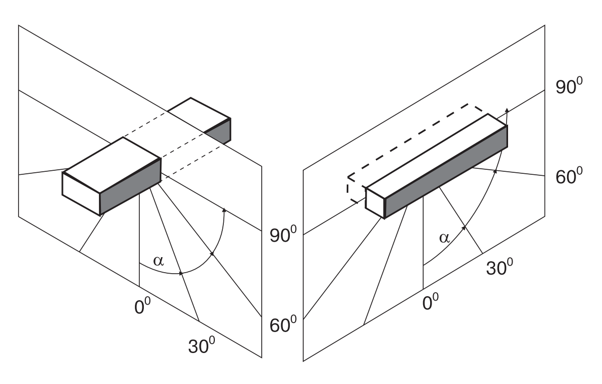


Рис. 42. Главные плоскости осветительных приборов

светораспределении ОП КСС одинаковы во всех плоскостях, поэтому в каталогах для таких ОП приводится только одна кривая.

Отсчет углов начинается от оптической оси ОП. Поскольку оптическая ось является линией пересечения продольной и поперечной главных плоскостей, то в направлении оптической оси (то есть под углом ноль градусов) значения сил света в этих плоскостях всегда совпадают.

По характеру светораспределения в соответствии с ГОСТ 13828 ОП делятся на пять классов: прямое (П), преимущественно прямое (Н), рассеянное (Р), преимущественно отраженное (В) и отраженное (О). Все ОП прожекторного типа имеют только прямое светораспределение. Светильники прямого светораспределения — это те, у которых не менее 80 % светового потока направлено в сторону выходного отверстия. Преимущественно прямым светораспределением называется такое, при котором в сторону выходного отверстия направлено от 60 до 80 % светового потока. Если свет направляется от светильника примерно поровну «вперед» (в сторону выходного отверстия) и «назад» (в обратную сторону), то такое светораспределение называется рассеянным. При преимущественно отраженном светораспределении доля светового потока, направляемого «вперед», составляет 20 – 40 %, а от 60 до 80 % направляется «назад». Если же «назад» направляется более 80 %, то такое светораспределение называется отраженным (рис. 43).

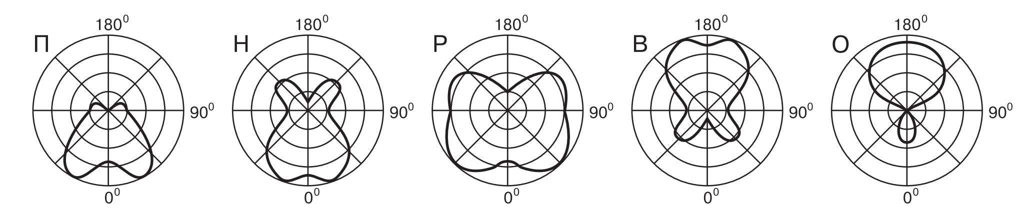


Рис. 43. Классы светораспределения

В последние годы в странах Западной Европы получили широкое распространение подвесные и напольные светильники, характер светораспределения которых не укладывается в названные пять классов. В отличие от светораспределений классов Н и В, в которых оптическая система светильников формирует КСС только в одну сторону, а световой поток, направленный в противоположную сторону, специально не перераспределяется, у новых светильников световой поток четко формируется по обе стороны плоскости выходного отверстия («вперед» и «назад», рис. 44). Поскольку ГОСТ такой класс светорас-

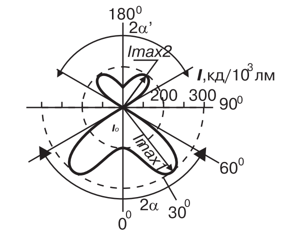


Рис. 44. «Двойное» светораспределение

пределения не предусмотрен, будем называть его «двойным».

В светотехнической литературе при описании характера светораспределения обычно употребляются термины «верхняя» и «нижняя» полусферы. Однако это справедливо только для потолочных светильников. Ко многим другим типам светильников лучше применять термины «передняя» и «задняя» полусферы, так как понятия верха и низа для них весьма условны. К таким светильникам относятся встраиваемые, напольные, настольные, консольные и многие типы подвесных светильников. Например, подвесные акцентирующие светильники могут светить в любую сторону и с любого направления, но ни класс светораспределения, ни тип КСС при этом у них, естественно, не изменяются.

Российским ГОСТ 13828 установлены семь типов КСС: концентрированная (К), глубокая (Г), косинусная или диффузная (Д), полуширокая (Л), широкая (Ш), синусная (С) и равномерная (М) (рис. 45). У светильников с кривыми сил света типа К, Г и Д направление максимальной силы света совпадает с оптической осью или близко к ней, у типа С — перпендикулярно оптической оси. При «широком» типе КСС максимальная сила света создается светильниками в направлениях, лежащих под углом от 55 до 85° к оптической оси, при «полушироком» — от 35 до 55°. Следует сказать, что КСС типов Ш, Л и Д могут быть «вывернутыми», поскольку они присущи светильникам не только с прямым или направленным характером светораспределения, но и с отраженным и преимущественно отраженным. В этих случаях направление максимальной силы света относительно оптической оси соответствует углам 180° (Д), 95 – 125° (Ш) и 125 – 145° (Л).



Рис. 45. Типы кривых сил света по ГОСТ 17677

К светотехническим параметрам светильников относятся еще две величины: яркость видимых частей светильников и защитный угол.

Задачей ОП является не только перераспределение светового потока, но и защита глаз от воздействия на них высокой яркости. Как было сказано выше, яркость является именно той светотехнической величиной, на которую реагирует глаз, а наличие в поле зрения предметов с высокой яркостью вызывает определенные неудобства (дискомфорт), снижение функций зрения и ослепленность. Поэтому в технической документации часто регламентируется максимально допустимая яркость видимых частей светильников. В частности, такое требование обязательно для светильников, устанавливаемых в помещениях с большим количеством персональных компьютеров.

Совершенно очевидно, что ограничивать яркость надо не по всем направлениям, а только в определенных угловых зонах. Обычно это углы от 0 до 30^{o} к горизонтальному направлению.

Снижение яркости осуществляется путем экранировки источников света с помощью отражателей и специальных экранирующих решеток или пластин, а также с помощью рассеивателей.

Угол, в пределах которого глаз защищен от попадания на него прямого света ламп, называется ***защитным углом светильника*** (рис. 46).

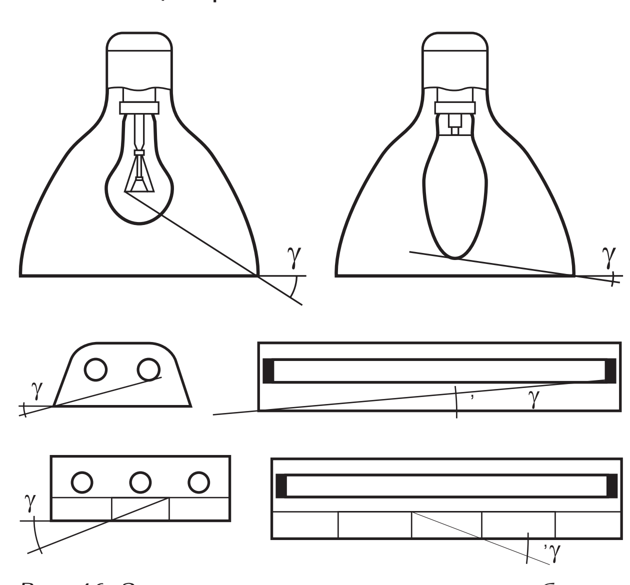


Рис. 46. Зашитные углы осветительных приборов

Если отражатели и экранирующие решетки из непрозрачных материалов действительно защищают глаз от прямого воздействия высокой яркости источников света, то рассеиватели разных типов или экранирующие решетки из светопропускающих рассеивающих материалов лишь уменьшают эту яркость. При этом необходимо иметь в виду, что призматические рассеиватели из прозрачных материалов практически не изменяют яркость источников света, а лишь «размазывают» их очертания. Поэтому светильники с призматическими преломлятелями не должны использоваться там, где они попадают в поле зрения непосредственно или в виде отражений («бликов») на блестящих предметах (стекло, полированный металл), а также на экранах персональных компьютеров.

8.1.2. Классификация осветительных приборов по основному назначению

По основному назначению ОП делятся на ряд групп:

- ОП для освещения производственных помещений;
- ОП для освещения административных, офисных, культурно-просветительских и других помещений общественного назначения;
- ОП для освещения бытовых помещений;
- ОП для освещения сельскохозяйственных помещений;
- ОП для освещения спортивных сооружений;
- ОП для функционального наружного освещения;
- ОП для декоративного наружного освещения;
- ОП для внутреннего освещения средств транспорта;
- ОП для архитектурно-художественного освещения зданий, памятников, фонтанов и т.п.;
- ОП аварийного освещения.

Каждая из этих групп, в свою очередь, делится на более мелкие подгруппы. Так, в группе ОП для освещения производственных помещений можно выделить:

- ОП для освещения помещений с нормальной средой;
- ОП для освещения помещений с тяжелой средой (пыльных, влажных, с агрессивными парами);
- ОП для освещения взрывоопасных помещений;
- ОП для освещения пожароопасных помещений.

В группе осветительных приборов функционального наружного освещения выделяются ОП: для улиц, дорог и площадей; для больших открытых пространств; для автотранспортных туннелей и подземных пешеходных переходов; для автозаправочных станций и т.п.

Классификация ОП по основному назначению определяет преимущественные области их применения. Однако эта классификация довольно условна, так как часто один и тот же светильник может использоваться в самых разных ситуациях.

8.1.3. Классификация осветительных приборов по конструктивному исполнению

В основу этой классификации положен, прежде всего, способ установки ОП на их «законных» местах. По способу установки ОП делятся на следующие группы (в скобках указано обозначение по ГОСТ 17677):

- встраиваемые (В);
- потолочные (П);
- подвесные (С);

- настенные (Б);
- напольные (Т);
- настольные (Н);
- венчающие (Т);
- консольные (К);
- переносные (Р).

В литературе иногда еще встречаются старые названия типов светильников: настенные светильники называются «бра», напольные — «торшеры», потолочные — «плафоны». В соответствии с ГОСТ 17677 использование таких названий в официальной технической документации не допускается.

В каталогах потолочные светильники иногда называются накладными. В ГОСТ 17677 такого термина нет, однако можно сказать, что он имеет право на существование, так как характеризует конструктивную особенность ОП: они действительно как бы накладываются на опорную поверхность. При этом опорной поверхностью для таких ОП может быть не только потолок, но и стены, наклонные плоскости сводов и т.п.

8.1.4. Классификация осветительных приборов по степени защиты от пыли и влаги

Существует международная система классификации и обозначения ОП и другого электротехнического оборудования по степени их защищенности от воздействия влаги (воды) и твердых частиц (пыли). Степень защиты обозначается буквами IP (Ingress Protection — защита от проникновения) и двумя цифрами. Первая цифра показывает степень защищенности ОП от проникновения в него пыли и посторонних тел и может принимать значения от 2 до 6:

2 — специальной защиты от пыли нет; обеспечена защита от проникновения твердых тел с максимальным размером в поперечном сечении более 12 *мм*, что исключает возможность прикосновения пальцами к токоведущим элементам;

3 — защиты от пыли также нет, но исключена возможность прикосновения к токоведущим элементам твердым телом с максимальным размером в поперечном сечении более 2,5 *мм* (например, отверткой);

4 — защиты от пыли нет, исключена возможность прикосновения к токоведущим элементам твердыми телами с максимальным размером в поперечном сечении 1 *мм* (например, проволокой диаметром 1 *мм*);

5 — обеспечена защита от попадания пыли на токоведущие элементы и колбы ламп. Полная защита от соприкосновения с токоведущими деталями;

6 — полная защита от попадания пыли во внутренний объем ОП (пыленепроницаемые приборы) и от соприкосновений с токоведущими деталями.

Вторая цифра в обозначении показывает степень защиты от проникновения воды внутрь ОП. Эта цифра может быть от 0 до 8 и означает:

0 — никакой защиты от попадания воды нет;

1 — в классификации степени защищенности не используется;

2 — обеспечена защита от капель воды, падающих сверху под углом не более 15^{o} к вертикали (каплезащищенные ОП);

3 — защита от капель и брызг, падающих сверху под углом к вертикали до 60^{o} (дождезащищенные);

4 — защита от капель и брызг, попадающих на прибор с любого направления (брызгозащищенные);

5 — защита от водяных струй, падающих с любого направления (струезащищенные);

6 — защита от проникновения воды при непостоянном попадании на ОП больших ее масс (волнозащищенные);

7 — защита от проникновения воды внутрь ОП при погружении его на определенную глубину и заданное время (водонепроницаемые);

8 — защита от проникновения воды при погружении ОП в воду на неограниченное время (герметичные).

При степенях защиты 7 и 8 в технической документации и на самих ОП указывается предельная глубина погружения (в метрах).

На практике наиболее часто встречаются ОП со степенями защиты IP20 (все ОП для освещения общественных и бытовых помещений, некоторых производственных помещений и спортивных сооружений), IP43 (большинство уличных светильников), IP65 (пылевлагозащищенные ОП для предприятий с тяжелыми условиями, ОП для наружного архитектурно-художественного освещения).

Для получения необходимой степени защиты ОП от пыли и влаги используются прокладки из эластичных материалов. Наиболее подходящим материалом можно считать кремнийорганические (силиконовые) резиновые смеси.

В таблице 23 приведены наиболее распространенные степени защиты ОП от пыли и влаги и рекомендуемые области применения приборов с такими степенями защиты.

Таблица 23

Степени защиты осветительных приборов от пыли и влаги

Степень защиты	Защита от пыли	Защита от влаги	Рекомендуемые области применения
IP20	Нет	Нет	Большинство административных и жилых помещений
IP23	Нет	Защита от дождя	Пром. предприятия с нормальной воздушной средой
IP40	Частичная	Нет	Чистые пром. предприятия
IP43	Частичная	Защита от дождя	Душевые, ванные. Школьные классы. Уличное освещение
IP54	Пылезащищённые	Защита от капель и брызг, падающих под любым углом	Производственные помещения с высокой влажностью
IP65	Пыленепроницаемые	Защита от струй, падающих под любым углом	Промышленные предприятия с тяжёлой средой. Наружное освещение, в т.ч. архитектурное

8.1.5. Классификация осветительных приборов по электробезопасности

Электробезопасность ОП должна обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током. Степень безопасности определяется наличием и качеством электрической изоляции токоведущих элементов (проводов, клеммных колодок, патронов), наличием заземления и величиной электрического напряжения, на которое включен ОП.

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) по степени электробезопасности все электрооборудование, в том числе и ОП, делится на четыре класса:

0 — безопасность обеспечивается только рабочей изоляцией на всех токоведущих элементах;

1 — кроме рабочей изоляции токоведущих частей, на приборах имеется специальная клемма для подключения заземляющего проводника (ни в коем случае нельзя использовать в качестве заземляющего провода нулевой или нейтральный провод электрической сети!). Около клеммы для подключения заземляющего провода на приборах ставится значок ⏚.

2 — безопасность изделия обеспечивается двойной или усиленной изоляцией токоведущих элементов. Двойная изоляция, кроме обычной рабочей изоляции, предусматривает применение дополнительных мер, обеспечивающих защиту от поражения электрическим током при нарушении рабочей изоляции. Усиленная изоляция — это

улучшенная рабочая изоляция, обеспечивающая такую же защиту от поражения электрическим током, как и двойная изоляция. Класс электрозащиты 2 применяется в большинстве бытовых электроприборов — электробритвах, кухонных комбайнах, стиральных машинах, настольных и напольных светильниках и т.п. Заземление приборов с классом защиты 2 не требуется. На приборах с таким классом защиты ставится знак ⧈. Так как заземления ОП с классом защиты 2 не требуется, то упрощается их монтаж и снижается их стоимость — к светильникам не надо подводить отдельную жилу заземления.

3 — безопасность приборов обеспечивается питанием их от электросети с напряжением не выше 42 *В* (по ПУЭ, по ГОСТ Р МЭК 60598 — 50 *В*), которое в подавляющем большинстве случаев не опасно для людей. Заземления таких приборов также не требуется. Изделия с классом электрозащиты 3 — это переносные светильники (ручные и налобные фонари), ОП с галогенными лампами накаливания низкого напряжения и светодиодами. Приборы с классом электрозащиты 3 маркируются знаком ⟨III⟩.

8.1.6. Пожаробезопасность осветительных приборов

При работе все источники света нагреваются до определенной температуры, зависящей, прежде всего, от типа, мощности и условий охлаждения. Температура нагрева может быть достаточно высокой: например, внешняя поверхность галогенных ламп накаливания может нагреваться выше 400 *°C*, поверхность ламп накаливания общего назначения — выше 200 *°C*, МГЛ и НЛВД — выше 300 *°C*. Поэтому ОП являются приборами, создающими опасность возникновения пожара в местах их установки.

С другой стороны, опасность возникновения пожара зависит и от условий эксплуатации ОП — типа материала, на котором устанавливается ОП, наличием в освещаемом помещении легковоспламеняющихся веществ, запыленности помещений. Для исключения вероятности возникновения пожароопасных ситуаций необходимо знать степень пожароопасности как самих ОП, так и помещений, в которых они работают.

На ОП встраиваемого, потолочного, настенного, настольного и напольного исполнения наносятся специальные знаки, характеризующие их пожароопасность.

Если на ОП имеется знак ▽F, то это означает, что данный прибор может устанавливаться не только на любую поверхность из несгораемых материалов (бетон, металл, штукатурка), но и на поверхности из сгораемых материалов с температурой воспламенения не ниже 200 *°C* (например, дерево или фанера

при толщине более 2 мм). Температура корпуса такого ОП при работе в нормальных условиях не превышает 115 ^{O}C, в аномальном режиме может повышаться до 130 ^{O}C, а при дефектах дросселя (например, междувитковое замыкание) — до 180 ^{O}C. Аномальным режимом можно считать случай, когда, например, люминесцентная лампа не загорается, и у нее только греются электроды или происходит непрерывное мигание.

Когда на ОП имеется двойной знак ▽F▽F, то корпус такого прибора нагревается до температуры не выше 95 ^{O}C. Такие ОП могут устанавливаться на поверхности из сгораемых материалов с неизвестной температурой воспламенения, на деревянных и фанерных поверхностях любой толщины (в том числе и менее 2-х *мм*), а также могут использоваться в помещениях, в которых присутствует пыль или волокна горючих веществ. Осветительный прибор не может устанавливаться ни на какие поверхности из горючих материалов, если на нем имеется знак ▽F.

Иногда на светильниках из термопластичных материалов (полиметилметакрилат, полистирол, поликарбонат и т.п.) имеется значок ▽°C. Такой знак говорит о том, что устанавливаемые в светильник узлы (дроссели для люминесцентных ламп, понижающие трансформаторы для галогенных ламп накаливания) при работе не должны нагреваться выше указанной в треугольнике температуры.

Светильники и прожекторы с галогенными лампами накаливания могут нагревать до недопустимо высоких температур не только те поверхности, на которых они установлены, но и освещаемые поверхности. В этих случаях на ОП наносится знак (...м, говорящий о том, что расстояние между выходным отверстием ОП и освещаемой поверхностью должно быть не менее указанного на знаке.

8.1.7. Взрывобезопасность осветительных приборов

При освещении предприятий химической, нефтяной, газовой и некоторых других отраслей промышленности необходимо учитывать, что в таких местах могут образовываться взрывоопасные смеси и светильники ни в каких ситуациях не должны быть источниками возникновения взрывоопасных ситуаций. Для освещения таких предприятий могут применяться только специальные светильники, конструкция которых так или иначе препятствует возникновению опасных ситуаций.

Как правило, в светильниках для освещения взрывоопасных помещений используются литые корпуса из алюминиевых сплавов, а

источники света помещаются в защитные кожухи из силикатного стекла или полимерного материала (чаще всего — поликарбоната). При освещении некоторых помещений, где опасность взрывов особенно велика, светильники устанавливаются вне помещений, а свет вводится через специальные световые проемы или с помощью полых щелевых световодов.

Ex

Взрывобезопасные светильники во всех странах маркируются знаком Ex.

Перед знаком Ex ставится цифра 0, 1 или 2. Светильники с маркировкой 2Ex называются «светильниками повышенной надежности против взрыва». В них предусмотрены меры защиты, затрудняющие образование опасных искр, дуг или перегрева только при нормальной работе светильников. В осветительных приборах с маркировкой 1Ex, называемых «взрывобезопасными», меры защиты обеспечивают предохранение от взрыва окружающих взрывоопасных смесей в результате возникновения искр, дуг или перегрева как при нормальной работе светильников, так и при возможных повреждениях в процессе эксплуатации. В светильниках с маркировкой 0Ex («особовзрывобезопасные») предусмотрены специальные дополнительные меры взрывозащиты.

8.2. Сертификация осветительных приборов

Все новые изделия перед запуском их в производство должны пройти сертификацию, то есть проверку соответствия их параметров требованиям государственных и отраслевых стандартов. Для проведения сертификации созданы специальные центры, аттестованные Госстандартом РФ. Крупнейшим центром по сертификации осветительных приборов, аппаратов включения, зажигающих устройств, электроустановочных и других светотехнических изделий является СВЕТОС, г. Москва.

В настоящее время большинство российских стандартов приводится в соответствие с требованиями международных организаций, в частности, Международной электротехнической комиссии — МЭК (IEC). Стандарты, соответствующие требованиям МЭК, называются ГОСТ Р МЭК. Сертификация на соответствие таким стандартам свидетельствует о том, что изделие отвечает требованиям МЭК и может поставляться на экспорт практически во все страны.

Основными требованиями стандартов типа ГОСТ Р МЭК являются требования безопасности для жизни и здоровья людей, сохранности окружающей среды и имущества. Для оценки технических параметров и качества изделий существуют международные стандарты, разработанные Международной комиссией по стандартизации ISO. Этой же комиссией разработаны и приняты стандарты, по которым

аттестуются предприятия, выпускающие какую-либо продукцию (например, стандарт ISO 9001).

В странах Европы, кроме стандартов МЭК, действует целый ряд международных норм, устанавливающих требования к электротехническим изделиям по уровню радиопомех, по электромагнитной совместимости, по безопасности (Европейские нормы EN). Изделия, соответствующие таким нормам, помечаются значком ENEC и символом сертификационного центра, проводившего испытания (например, в Германии — VDE). Знак ENEC заменяет национальные сертификационные знаки всех стран—членов Европейского Союза. Наличие такого знака означает полное соответствие изделий требованиям комплекса международных стандартов, подтверждаемое регулярными проверками и испытаниями, проводимыми представителями контролирующих органов.

Кроме знака ENEC или вместо него, на изделиях иногда ставится знак CE. Такой знак подтверждает соответствие изделия только требованиям правил электромагнитной совместимости, действующих в странах ЕС, но не является признаком качества, надежности и безопасности изделий. В отличие от знака ENEC, являющегося сертификационным и присваиваемым только по результатам испытаний изделий в специализированных центрах, знак CE наносится предприятием-изготовителем под собственную ответственность.

Если ОП сертифицирован на соответствие требованиям ГОСТ Р МЭК 60 598, то каких-либо дополнительных сертификатов (пожарных, медицинских и т.п.) **не требуется**. Возможность использования ОП в определенных условиях (например, на АЗС) подтверждается заключениями компетентных организаций, имеющих право давать такие заключения (ВНИИ пожарной охраны, ВНИИ охраны труда, Институтом общей и коммунальной гигиены и др.).

8.3. Аварийное освещение

Аварийное освещение, прежде всего, должно обеспечивать безопасность людей при выходе из строя общего освещения. На предприятиях и в цехах с непрерывным циклом производства аварийное освещение, кроме того, должно обеспечивать минимально необходимые условия для продолжения работы. В этом случае оно играет роль резервного освещения. Еще одной важной функцией аварийного освещения является указание путей эвакуации из помещений в аварийных ситуациях.

Если резервное освещение требуется лишь на некоторых промышленных предприятиях, то эвакуационное освещение необходимо практически везде. Требования к светильникам аварийного освеще-

ния изложены в ГОСТ Р МЭК 60598-2-22-99, а к аварийному освещению — в СНиП (Строительные нормы и правила). В соответствии с этими требованиями, светильники аварийного освещения в случае выхода из строя основного (рабочего) освещения должны обеспечивать на полу освещенность не ниже 0,5 *лк*, достаточную для четкого различения лестничных ступенек, препятствий и т.п. Для обеспечения эвакуационного освещения в помещениях должны устанавливаться специальные светильники или же часть светильников общего освещения должна переключаться в режим аварийного освещения.

В соответствии с требованиями СНиП (Строительные нормы и правила), в аварийных светильниках могут использоваться только лампы накаливания, а люминесцентные лампы — лишь в тех помещениях, в которых температура воздуха не может опускаться ниже +5 ^{o}C.

Аварийные светильники могут быть автономными или централизованного питания, когда для них прокладываются отдельные электрические сети от отдельных подстанций или от аккумуляторов.

После террористического акта в Нью-Йорке 11 сентября 2001 года, когда были разрушены два гигантских здания Всемирного торгового центра и погибло множество людей, стала очевидной ненадежность систем аварийного освещения с централизованным питанием: здания оказались без аварийного освещения, что значительно затруднило возможность выхода людей из них. Результатом этого стала тенденция отказа от централизованного питания светильников аварийного и эвакуационного освещения и перехода к их автономному питанию.

Автономные светильники аварийного освещения могут быть постоянными, непостоянными и комбинированными. Наиболее рациональными можно считать комбинированные светильники, которые в нормальном режиме работают как обычные светильники общего освещения, а при авариях переключаются в режим аварийного освещения. Поскольку в аварийном режиме требуются значительно меньшие освещенности, чем при нормальной работе, то при переходе в такой режим многоламповых светильников в них остается работать только одна лампа, причем и она работает не на полную мощность. В одноламповых светильниках снижается мощность лампы (как правило, до 20 – 30, а иногда и до 5 %). Необходимое количество аварийных светильников определяется размерами и характером помещений.

Для реализации автономного питания сегодня производятся так называемые «конверсионные модули» или «блоки аварийного питания». Такие блоки существовали и ранее, но широкому их распространению способствовали именно события 11 сентября 2001 года.

Конверсионный модуль — это устройство, содержащее электронный аппарат включения люминесцентных ламп, аккумуляторы и электронное или электромеханическое реле, переключающее лампы с работы от сетевого напряжения на работу от аккумуляторов. В многоламповых светильниках на аккумуляторное питание обычно переключается только одна лампа. Емкости аккумуляторов достаточно для работы ламп в течение одного, двух или трех часов (в зависимости от типа конверсионного блока). Этого времени должно хватить для завершения необходимых работ и эвакуации людей.

Имеются варианты конверсионных блоков, в которых переключается только система питания аппарата включения. В нормальном режиме лампы питаются через аппарат от сети, а в аварийном — через тот же аппарат от аккумулятора.

Конверсионные блоки могут встраиваться во многие типы светильников с люминесцентными лампами, превращая, таким образом, светильники общего освещения в светильники аварийного или резервного освещения. Для этого могут быть использованы, в принципе, любые светильники с люминесцентными лампами.

От светильников аварийного освещения необходимо отличать световые эвакуационные указатели («ВЫХОД» и т.п.). В соответствии с Нормами пожарной безопасности НПБ 77-98, такие указатели должны устанавливаться во всех помещениях с одновременным пребыванием большого количества людей. В отличие от светильников аварийного освещения, эвакуационные указатели не обязаны обеспечивать освещенность, достаточную для безопасной эвакуации людей. В настоящее время функции светильников аварийного освещения и эвакуационных указателей часто совмещаются в одних изделиях — на светильники наклеиваются соответствующие трафареты. При этом обеспечивается и необходимая освещенность в аварийных режимах, и указание путей эвакуации.

Очевидно, что применение одних эвакуационных указателей в больших помещениях (крупные торговые залы, цеха промышленных предприятий и т.п.) явно недостаточно: если при аварии погаснет свет, то люди просто не будут видеть путей эвакуации, хотя где-то и будут светиться указатели «ВЫХОД». Поэтому часть светильников обязательно должна питаться от отдельных аварийных сетей или иметь встроенные конверсионные модули, переключающие одну из ламп светильника на питание от внутренних аккумуляторов. С учетом сказанного выше предпочтение следует отдавать второму варианту — использованию конверсионных модулей, например, блока ES.

* * *

Таблица 24

Сводная таблица сравнения источников света

Параметр	Люминесцентные лампы			РЛВД	МГЛ	НЛВД	Лампы накаливания	
	Линейные	Компактные	Безэлект-родные				Общего назначения	Галогенные
Мощность, Вт	4-80	3-125	23-165	50-1000	20-3500	50-1000	10-1000	3-5000
Световой поток, лм	110-7500	100-10000	1300-12000	1800-58000	1000-300000	3500-130000	70-18000	30-110000
Световая отдача, лм/Вт	25-104	25-80	55-80	36-58	50-95	70-150	7-18	До 30
Цветовая температура, К	2700-6500			4000-4500	3000-6000	Около 2000	2500-2900	2700-4000
Индекс цветопередачи, R_a	50-90			40-45	65-90	Меньше 25	100	100
Срок службы, час	5000-60000			До 24000	6000-15000	До 28000	1000	До 1000
Недостатки	1, 2, 3			4, 5	2, 3, 5	3, 4,5	6, 7	6, 7
Достоинства	1, 2			2	3, 4	1, 2	5, 6, 7	5, 6, 7
Основные области применения	Внутреннее освещение административных помещений, магазинов и т.п.			Уличное освещение, освещение пром. предприятий.	Архит.-худ. освещение, акцентир. освещение.	Уличное освещение.	Освещение жилых помещений.	Архитек.-худ. освещение, акцентир. освещение.

В строке «Недостатки» цифрами обозначено: 1 — большие габариты; 2 — наличие ртути; 3 — необходимость специальной аппаратуры включения; 4 — плохая цветопередача; 5 — пульсации светового потока; 6 — низкая световая отдача; 7 — малый срок службы.

В строке «Достоинства» цифрами обозначено: 1 — высокая световая отдача; 2 — большой срок службы; 3 — компактность; 4 — хорошая цветопередача; 5 — идеальная цветопередача; 6 — простота включения; 7 — дешевизна.

Таблица 25

Обозначения цветности люминесцентных ламп

Цветность излучения	ГОСТ 6825	Philips	Osram
Стандартные лампы ($R_a \leq 70$)			
Тёпло-белая ($T_{цв}$= 2700-2900)	ЛТБ	29	30
Белая ($T_{цв}$=3500-3900)	ЛБ	35	-
Универсально (ярко)-белая ($T_{цв}$=4000-4100)	-	33, 25	25, 20
Холодно-белая ($T_{цв}$=4500-4800)	ЛХБ	-	-
Дневная ($T_{цв}$=6200-6500)	ЛД	54	-
Лампы с улучшенной цветопередачей (R_a=80-85)			
Тёпло-белая	ЛТБЦ	827, 830	827, 830
Ярко-белая	-	840	840
Дневная	ЛДЦ	860	865
Лампы с отличной цветопередачей ($R_a \approx 90$)			
Тёпло-белая	-	927, 930	927, 930
Ярко-белая	-	940	940
Холодно-белая	ЛХБЦЦ	950	950
Дневная	-	965	965

8.4. Как правильно выбрать светильник?

Прежде всего освещение должно обеспечивать условия для выполнения определенных зрительных задач. В зависимости от рода выполняемой работы требования к освещению различны. В главе 3 «Нормирование освещения» были рассмотрены нормируемые параметры освещения и влияние на них различных факторов.

При выборе светильников и систем освещения, в первую очередь, необходимо исходить из функционального назначения освещаемого помещения. Приближенно можно выделить следующие типы помещений:

- Производственные (среди них отдельные группы — «чистые», пыльные и сырые, с агрессивной средой, взрывоопасные и др.).
- Офисы с большим количеством компьютеров.
- Обычные офисы.
- Торговые.
- Учебные.
- Учреждения здравоохранения.
- Музейные и выставочные.
- Спортивные.
- Холлы, вестибюли и т.п.
- Вспомогательные (коридоры, раздевалки, туалеты и т.п.).
- Складские и подсобные.
- Конференц-залы, комнаты для деловых встреч, переговоров и т.п.

В таблице 26 даны рекомендации по использованию светильников из номенклатуры Компании «Световые Технологии» для освещения перечисленных типов помещений, а далее по тексту даются некоторые пояснения к вариантам их применения.

Таблица 26

Рекомендуемые типы светильников из номенклатуры компании «Световые технологии»

Тип освещаемого помещения (объекта)	**Рекомендуемые типы светильников**
Офисы с большим количеством компьютеров	PTF, PRB, PRBLUX, TOP
Офисы, в которых работа с компьютерами не является основной	ARS, WRS, OTR, OTK, OTN, DR
Торговые залы	ARS, WRS, DLR, DLZ, SNC, SNS, AST, ASM, HBP, DLF, DLH
«Чистые» промышленные предприятия	OWP, LZ, LB, LMB, HBP
Промышленные предприятия с тяжёлой средой	PAC, LZ, LB, HBS, HBF, KRK
Школьные классы, аудитории	OPL, AOT, ASM
Гостиницы, фойе, вестибюли и т.п.	AL, AL.ARS, ALO, CMP, BH
Комнаты отдыха, конференц-залы	ARS, WRS, OTK, OTR, OTN, DR
Больницы	BH, OWP, ALS
Библиотеки	OPL, PRS, TOP, AOT
Выставочные залы	ASM, DLR, DLZ, SNC, SNS
Вспомогательные помещения (коридоры, лестницы, гардеробы)	RTX, BAT, RKL, K, C
Гаражи	PAC, LZ, KRK
Спортивные залы	SPORT, HBS, HBF, UM
Автостоянки	UM
Предприятия общественного питания	CMP, CMG
Складские помещения	HBS, HBF, LNB
Автозаправочные станции	LB
Архитектурные сооружения (наружное освещение)	UM

Важнейшей проблемой при проектировании осветительных установок является выбор источников света. В таблице 24 приведены граничные значения параметров всех современных источников света массового применения, отмечены их достоинства и недостатки, названы основные области применения. Как видно из таблицы, идеальных источников света сегодня нет — каждому типу присущ целый ряд недостатков. Возможно, светодиоды наиболее близки к понятию «идеальный источник света», однако это пока все же скорее экзотический, чем массовый источник.

Очевидно, что при освещении производственных и общественных помещений нет смысла использовать лампы накаливания из-за

их низкой световой отдачи и малого срока службы. Однако в быту эти лампы пока что почти безальтернативны благодаря их дешевизне, простоте включения и отсутствию ртути. Кроме этих достоинств, лампы накаливания, в том числе галогенные, обеспечивают идеальную цветопередачу и поэтому широко используются в торговых и выставочных залах для витринного и акцентирующего освещения. Дешевые светильники с обычными лампами накаливания могут быть также рекомендованы для освещения небольших вспомогательных помещений с низкими уровнями освещенности.

Для освещения административных и общественных помещений (офисов, школ, больниц, конструкторских бюро и т.п.) лучше всего подходят люминесцентные лампы, в том числе компактные. Из люминесцентных ламп особенно выделяются лампы в колбах диаметром 16 *мм* (серия Т5) — они имеют наибольшую световую отдачу, очень большой срок службы, малый спад светового потока в течение срока службы, хорошую цветопередачу, удачно вписываются в размеры стандартных модулей подвесных потолков.

Во всех помещениях с длительным пребыванием людей предпочтение должно отдаваться высокочастотному питанию ламп. Несмотря на большую стоимость светильников с электронными аппаратами включения, их применение всегда оправдано во многих помещениях, особенно в рабочих кабинетах с компьютерами или с напряженной зрительной работой.

Светильники одного типа, например, **ARS**, делаются с лампами разной мощности (18, 36 и 58 *Вт*) и с разным количеством ламп. Как было показано в разделе 4.3.1., световая отдача люминесцентных ламп увеличивается с их длиной, а доля потерь мощности в дросселях при этом уменьшается, что ведет к еще большему росту световой отдачи комплекта «лампа-балласт». Например, четыре лампы мощностью 18 *Вт* создают световой поток примерно 4200 *лм* и потребляют мощность (с дросселями) 98 *Вт*, а две лампы по 36 *Вт* — 5600 *лм* и 85 *Вт* соответственно. Поэтому со светотехнической точки зрения применение светильников с лампами мощностью 36 *Вт* предпочтительнее, чем с лампами мощностью 18 *Вт*. Однако при выборе мощностей и количества ламп необходимо учитывать не только световую отдачу ламп, но и все остальные факторы. Практика показывает, что в помещениях с относительно низкими потолками оптимальнее использовать светильники с лампами мощностью 18 *Вт*, а в высоких помещениях (3,5 м и выше) — 36 и 58 *Вт*.

При выборе люминесцентных ламп по качеству цветопередачи следует ориентироваться на требования новых Европейских норм освещенности: в помещениях с длительным пребыванием людей R_a не должно быть меньше 80. Очевидно, что в коридорах, туале-

тах и других вспомогательных помещениях вполне пригодны и значительно более дешевые лампы со «стандартной» цветопередачей. Лампы с «отличной» цветопередачей (R_a не менее 90) следует применять только там, где цветопередача является одним из главных критериев освещения — в полиграфии, текстильной и лакокрасочной промышленности, в художественных галереях, цветочных магазинах и т.п.

В таблице 25 даны обозначения цветности люминесцентных ламп с различным качеством цветопередачи по ГОСТ 6825 и в документации ведущих мировых производителей ламп — Philips и Osram. На стр. 4 обложки показано влияние величины общего индекса цветопередачи R_a на качество цветных изображений.

Маломощные металлогалогенные лампы, особенно с керамическими горелками (типа CDM), сейчас достаточно широко применяются для витринного и акцентирующего освещения вместо галогенных ламп накаливания, так как при хорошей цветопередаче они имеют гораздо большие сроки службы и световые отдачи. Кроме этого, металлогалогенные лампы широко применяются в прожекторах для наружного архитектурного освещения.

Натриевые лампы высокого давления незаменимы для уличного освещения и для освещения таких производственных помещений, в которых нет требований по качеству цветопередачи (металлургические, металлообрабатывающие цеха, склады и т.п.).

Ртутные лампы высокого давления с люминофором (ДРЛ) широко используются в уличном освещении малых городов и второстепенных улиц в больших городах, так как они значительно дешевле натриевых ламп и не требуют применения зажигающих устройств. Во внутреннем освещении область применения таких ламп — производственные помещения без особых требований к качеству цветопередачи (склады, деревообрабатывающие, химические цеха и т.п.).

В тех местах, где обслуживание осветительных приборов затруднено, предпочтительны безэлектродные люминесцентные лампы, имеющие наибольший срок службы среди массовых источников света.

Очевидно, что одинаковые значения освещенности могут быть обеспечены множеством различных вариантов. Какими же критериями нужно руководствоваться при выборе светильников, обеспечивающих хорошее освещение, и что такое «хорошее освещение»? Этот вопрос не такой уж наивный — в Германии, например, существует даже специальное научно-техническое общество, которое так и называется «Хорошее освещение». Это общество выпустило уже 16 брошюр с названиями «Хорошее освещение производственных помеще-

ний», «Хорошее освещение административных помещений» и тому подобное.

Критериями качества освещения можно считать:

1. Обеспечение нормируемых количественных параметров (освещенности).
2. Комфортность.
3. Безопасность.
4. Надежность.
5. Экономичность.
6. Удобство эксплуатации.
7. Эстетичность.

Эти критерии тесно связаны между собой. Важность каждого из них определяется видом освещаемого помещения или объекта и характером выполняемой работы. Например, для производственных помещений необходимо, прежде всего, обеспечить требуемые нормами уровни освещенности, а для представительских помещений часто наиболее значимым является внешний вид светильников, их эстетичность.

Рассмотрим каждый из названных критериев.

Нормируемые уровни освещенности обеспечиваются выбором светильников по их светотехническим параметрам, количеством светильников в освещаемых помещениях, их расположением относительно освещаемых поверхностей, а также отражающими свойствами потолка, стен и пола.

Освещенность достаточно легко может быть рассчитана. Наиболее распространенным и сравнительно простым методом расчета является метод коэффициента использования светового потока в осветительной установке. Он приводится, в частности, во всех каталогах компании «Световые Технологии». В настоящее время существует множество компьютерных программ расчета освещенности в помещениях, позволяющих по известным КСС светильников и заданной освещенности находить требуемое количество светильников, их оптимальное расположение, мощность источников света, распределение яркости в поле зрения. В качестве примера таких программ можно назвать программы Dialux или Relux.

В основе всех методов расчета освещенности, как ручных, так и компьютерных, лежит фундаментальный закон светотехники — закон квадратов расстояний:

$$E = \frac{I}{l^2} \cos \alpha,$$

где E — освещенность на какой-либо поверхности,
I — сила света светильника в направлении этой поверхности,
l — расстояние между источником света и освещаемой поверхностью,

α — угол между направлением света и перпендикуляром к освещаемой поверхности.

Строго говоря, закон квадратов расстояний применим только для точечных источников света или при расстояниях от светильника до освещаемой поверхности, превышающих размер светильников не менее, чем в три раза.

Из закона квадратов расстояний ясно, что чем ближе к освещаемой поверхности расположен светильник, тем при меньшей силе света он обеспечит требуемую освещенность:

$$I = E\, l^2 / \cos \alpha.$$

Сила света светильника примерно пропорциональна мощности установленного в нем источника света. Поэтому для достижения необходимых уровней освещенности в помещениях с высокими потолками целесообразно использовать подвесные светильники, максимально приближая их к освещаемой поверхности. Если характер помещения не позволяет размещать подвесные светильники на малых высотах, например, в цехах с высоким оборудованием, спортивных залах и т.п., то предпочтение должно отдаваться светильникам с глубоким или концентрированным типом кривой сил света (тип КСС — Г или К).

Если требуется хорошая равномерность освещения, то целесообразно применять светильники с полушироким (тип КСС — Л) или широким (Ш) светораспределением, например, светильники типов ***HBS*** и ***HBF***.

Иногда требуется обеспечивать нормируемые уровни освещенности не на горизонтальных, а на вертикальных плоскостях (картины, классные доски, витрины). В этих случаях незаменимыми оказываются светильники с асимметричным светораспределением («кососветы») или поворотные светильники направленного света. Примеры светильников с асимметричными КСС — ***ASM/S*** (рис. 47), ***BAT*** с отражателем ***RWU***, поворотных — ***DLR, DLZ, KRK.RP*** (рис.48 — 50).



Рис. 47. ASM/S

Рис. 48. DLR



Рис. 49. DLZ



Рис. 50. KRK.RP


Рис. 51. DLF


Рис. 52. SNS


Рис. 53. SNC

При освещении торговых залов часто требуется не просто обеспечить нормируемые уровни освещенности, но и создать насыщенность помещений светом. Для этого хорошо подходят встраиваемые поворотные светильники направленного света с металлогалогенными лампами ***DLP, DLZ,*** встраиваемые неповоротные с компактными люминесцентными лампами ***DLS, DLG, DLC, DLF*** (рис. 51), ***DLH,*** акцентирующие светильники DLN. Для создания насыщенного общего освещения и одновременно акцентирующего освещения образцов товаров (или экспонатов выставочных залов) эффективны комбинированные светильники SNS (с компактными люминесцентными и галогенными лампами накаливания) (рис. 52) и SNC с установкой зеркальных ГЛН на карданных системах (рис. 53).

При наружном освещении фасадов зданий, памятников архитектуры и скульптур обычно нормируется не освещенность, а яркость освещаемых объектов. Для наружного освещения применяются ОП прожекторного типа, например, серии ***UM*** (рис. 54 – 56). Поскольку прожекторы часто устанавливаются на небольшой высоте и светят снизу вверх, их конструкция должна обеспечивать защиту от водяных струй, падающих под любым углом. Поэтому степень их защиты должна быть не ниже IP65. Эти же прожекторы хорошо подходят для освещения рекламных щитов.


Рис. 54. UMS (симметричный отражатель)


Рис. 55. UMC (круглосимметричный отражатель)


Рис. 56. UMA (асимметричный отражатель)

При освещении объектов с малых расстояний лучше использовать прожекторы с асимметричным светораспределением. Если нужно правильно различать цвета освещаемого объекта, то необходимо использовать металлогалогенные лампы; если же цветопередача не играет значительной роли или объекту надо придать «солнечный вид», лучше использовать более экономичные натриевые лампы высокого давления.

Если освещенность величина объективная, которая может быть легко рассчитана и измерена специальными приборами (люксметрами), то следующий критерий качества освещения — комфортность — включает в себя множество факторов, которые не всегда поддаются расчету и измерению. Важнейшим из таких факторов является прямая и отраженная блескость, то есть слепящее действие источников света, осветительных приборов и их отражений на блестящих поверхностях. Для ограничения прямой блескости светильников применяются различные конструктивные приемы — использование экранирующих решеток, рассеивателей и т.п.



Рис. 57. PTF/R

Наиболее эффективны с точки зрения ограничения блескости зеркальные решетки с профилем расчетной формы (параболические или бипараболические), позволяющие наилучшим образом перераспределять световой поток источников света и одновременно обеспечивать полное отсутствие прямой блескости в пределах заданных углов. С массовым внедрением персональных компьютеров вопрос ограничения блескости приобрел особую остроту, так как отражение светильников в стеклянных экранах мониторов приводит к резкому ухудшению видимости изображения на экранах и повышенной утомляемости операторов. В новых Европейских нормах освещенности жестко регламентируется максимальная яркость светящихся поверхностей светильников, которые могут отражаться в экранах мониторов. Этим нормам полностью удовлетворяют светильники с зеркальными параболическими и бипараболическими решетками ***PTF, PRB, TOP*** (рис. 57 – 61). Очень удачно решена проблема снижения блескости в светильниках отраженного света ***OTR*** и комбинированного

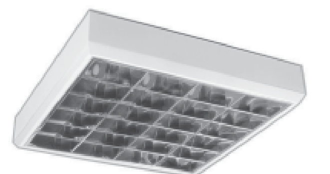


Рис. 58. PRBLUX/S



Рис. 59. PRB/R

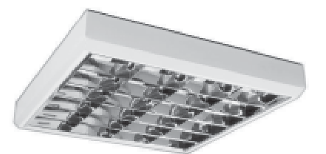


Рис. 60. PRB/S



Рис. 61. TOP

света ***ОТК*** (рис. 62, 63). Хотя КПД этих светильников ниже, чем у осветительных приборов прямого света, но они создают очень мягкое и комфортное освещение и могут быть рекомендованы для использования в офисах, конструкторских бюро, конференц-залах и т.п.

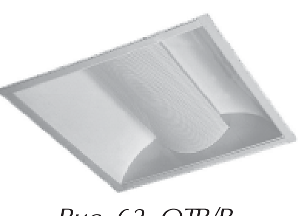


Рис. 62. OTR/R



Рис. 63. OTK/R

Рассеиватели из глушеных (опаловых, молочных) материалов снижают яркость источников света, однако использовать светильники с такими рассеивателями в помещениях с компьютерами все же нежелательно. Призматические рассеиватели из прозрачных материалов, как уже было сказано, не уменьшают яркость источников света и поэтому создают большую блескость, чем опаловые. Коэффициент полезного действия светильников с такими рассеивателями выше, чем у светильников с опаловыми рассеивателями, а сами светильники имеют более нарядный и менее «казенный» вид. Поэтому в тех помещениях, где люди не находятся постоянно (торговые и выставочные залы, вестибюли и т.п.), предпочтение часто отдается как раз светильникам с призматическими рассеивателями.

Другими факторами, влияющими на комфортность освещения, являются цветность излучения и качество цветопередачи. Если слепящее действие определяется конструкцией самих осветительных приборов, то цветность и качество цветопередачи однозначно связаны только с источниками света, так как в одном и том же светильнике могут быть установлены различные лампы. Предпочтительная цветность излучения во многом зависит от индивидуальных особенностей людей и местности их проживания. Например, в скандинавских странах предпочитают «теплые» тона света ($T_{цв.}$= 2700 – 3000 *K*), а в южных — «холодные» ($T_{цв.}$= 6000 – 6500 *K*). В большинстве стран Европы предпочтение отдается «нейтрально-белому» свету с $T_{цв.}$= 4000 – 4200 *K*. В быту большинство людей в Европе и в России предпочитают свет «теплых» тонов, близкий к свету ламп накаливания.

В новых Европейских нормах освещенности для всех административных помещений предписывается использование источников света с «очень хорошей» цветопередачей (R_a не менее 80). В России такого жесткого требования нет, однако совершенно очевидно, что плохая цветопередача в помещениях с длительным пребыванием людей (рабочие комнаты, школы) крайне нежелательна, а в ряде случаев (продовольственные и промтоварные магазины, картинные галереи) просто недопустима. Оптимальными можно считать источники света с R_a = 80 – 85. В некоторых случаях (цвет-

ная полиграфия, текстильная промышленность, хирургические отделения больниц) необходимо использовать источники света с «отличной» цветопередачей (R_a не менее 90) несмотря на то, что такие лампы имеют меньшую световую отдачу и стоят значительно дороже.

Важным фактором комфортности освещения является коэффициент пульсаций освещенности. Если в светильниках с лампами накаливания этой проблемы нет (глубина пульсаций их светового потока не превышает 5 %), то при использовании газоразрядных, в том числе и люминесцентных ламп, пульсации светового потока присутствуют всегда. Сегодня наиболее рациональным путем снижения пульсаций является использование электронных высокочастотных аппаратов включения, дающее попутно и много других положительных моментов (см. раздел 4.3.).

Еще одним фактором, влияющим на комфортность освещения, является возможность регулирования освещенности. В новых Европейских нормах освещенности указан ряд помещений, в которых возможность регулирования обязательна (в частности, конференц-залы и комнаты для переговоров). Целесообразно регулирование освещенности в зрительных залах театров и кинотеатров. Кроме повышения комфортности, регулируемое освещение обеспечивает значительную экономию электроэнергии.

К другим факторам, определяющим комфортность освещения, относятся: распределение яркости в поле зрения, направленность света, тенеобразующие свойства света, акустические помехи (гудение) от осветительных приборов и т.п.

Безопасность освещения определяется, прежде всего, классом защиты осветительных приборов от поражения людей электрическим током. Однако осветительные приборы с газоразрядными лампами являются потенциальными источниками и экологической опасности, так как все газоразрядные лампы содержат крайне ядовитую ртуть. Поэтому, кроме электрической защиты, в осветительных приборах должны быть предусмотрены меры защиты от разрушения ламп, выпадения их из цоколей и т.п. Эти меры обеспечиваются конструкцией приборов и качеством используемых в них электроустановочных изделий.

Особое значение вопросы безопасности приобретают при освещении взрывоопасных и пожароопасных помещений. В таких помещениях критерий безопасности является, безусловно, наиболее значимым. Для освещения взрывоопасных помещений могут использоваться только специальные светильники, имеющие в маркировке обозначение ***Ex.*** Взрывобезопасность осветительных приборов обеспечивается их конструкцией. Светотехнические параметры взрыво-

безопасных светильников заметно хуже, чем у обычных, поэтому применять такие светильники для освещения невзрывоопасных помещений нет смысла.

Пожаробезопасность осветительных приборов обеспечивается их конструкцией, выбором конструкционных и светотехнических материалов и ограничением максимальной температуры, до которой могут нагреваться отдельные элементы. Для осветительных приборов с зеркальными отражателями и с галогенными лампами накаливания или металлогалогенными лампами иногда ограничивается еще и минимальное расстояние от выходного отверстия прибора до освещаемой поверхности.

Надежность как критерий качества освещения включает в себя понятия срока службы, зависимости параметров от внешних воздействующих факторов (температуры и влажности воздуха, запыленности, наличия паров агрессивных веществ, механических воздействий — вибрации, ударов и т.п.) и от качества электроэнергии.

Срок службы осветительных приборов определяется, в основном, установленными в них источниками света, так как срок службы арматуры, электроустановочных изделий, аппаратов включения, оптических элементов, как правило, на несколько порядков выше, чем у ламп. При оценке осветительных приборов с точки зрения надежности необходимо иметь в виду, что лампы накаливания имеют наименьший срок службы среди источников света. Кроме того, срок службы ламп накаливания зависит от параметров электрической сети гораздо больше, чем у газоразрядных ламп. Увеличение напряжения сети на 5 % ведет к снижению срока службы ламп накаливания почти в 3 раза, а люминесцентных ламп с электромагнитными балластами на 5 %. Включение люминесцентных ламп с электронными балластами увеличивает их срок службы до полутора раз и делает его практически независимым от колебаний напряжения сети.

Температура окружающего воздуха почти не влияет на параметры осветительных приборов с лампами накаливания, ртутными и натриевыми лампами высокого давления, металлогалогенными лампами, но очень сильно сказывается на параметрах светильников с люминесцентными лампами. Снижение температуры от +25 до 0 ^{o}C приводит к уменьшению светового потока люминесцентных ламп почти в 5 раз. Повышение температуры сказывается меньше: при росте температуры от + 25 до + 50 ^{o}C световой поток ламп снижается на 20 – 25 %. Поэтому в климатических условиях России нет смысла применять светильники с люминесцентными лампами для наружного освещения и освещения неотапливаемых помещений.

Надежная работа осветительных приборов в условиях повышенной влажности, запыленности, присутствия в воздухе паров агрес-

сивных химических соединений обеспечивается их конструкцией. Для освещения помещений с высокой влажностью (ванных комнат, душевых, прачечных, закрытых плавательных бассейнов и т.п.) необходимо использовать светильники со степенью защиты не ниже IP54 (например, ***LB, C360, K200, ALS*** — рис. 64, 65). В особо сырых и пыльных помещениях, а также в цехах химических предприятий степень защиты должна быть IP65 (***PAC, LZ, KRK*** — рис. 66, 50).

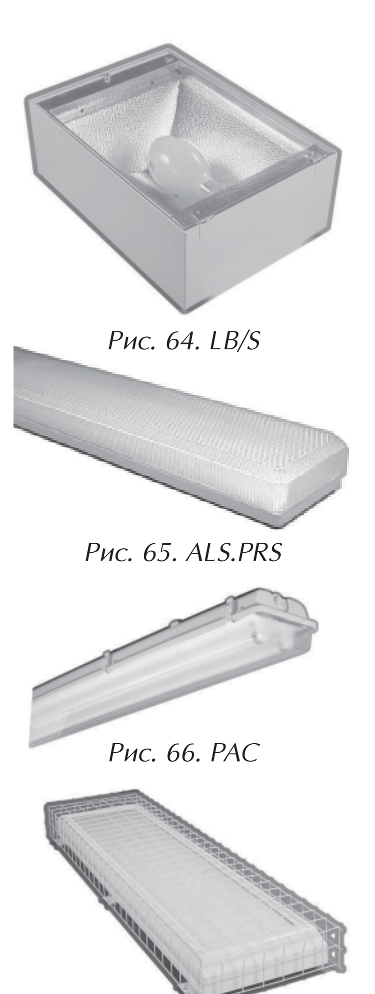


Рис. 64. LB/S

Рис. 65. ALS.PRS

Рис. 66. PAC

Рис. 67. SPORT

При освещении спортивных залов необходимо учитывать возможность попадания в светильник мячом или другим спортинвентарем. Защита таких светильников от разрушения обеспечивается металлической сеткой, устанавливаемой поверх рассеивателей (например, светильник ***SPORT*** — рис. 67).

Очень важным критерием качества освещения является ***экономичность***.

И расчеты, и опыт показывают, что за реальное время эксплуатации осветительных установок (10 – 15 лет) в промышленных и административных помещениях капитальные затраты (стоимость самих светильников с лампами и их монтажа) составляют 10 – 15 %. Затраты на обслуживание (чистка, замена источников света) — около 15 %; затраты на электроэнергию 70 – 75 %. В странах Западной Европы и Америки, где труд и электроэнергия дороже, чем в России, доля капитальных затрат еще меньше. Поэтому при выборе светильников необходимо учитывать не только их цену, но и суммарные расходы на освещение.

Если капитальные затраты определяются, в основном, ценой светильников и не зависят от светотехнических параметров источников света, то расходы на обслуживание и стоимость электроэнергии связаны с параметрами источников света — их световой отдачей и сроком службы. На количество потребляемой электроэнергии влияют параметры и самих светильников, прежде всего, характер их светораспределения (КСС) и КПД.

Очевидно, чем выше световая отдача источника света, тем при меньшей потребляемой мощности может быть обеспечена требуе-

мая освещенность. С этой точки зрения самые невыгодные источники света — лампы накаливания, а наиболее предпочтительные для внутреннего освещения административных помещений — люминесцентные лампы, для наружного освещения и освещения некоторых промышленных предприятий — натриевые лампы высокого давления. При равных освещенностях осветительная установка с хорошими люминесцентными лампами потребляет в 7 – 10 раз меньшую мощность, чем с лампами накаливания. Естественно, что светильники с люминесцентными лампами стоят значительно дороже, чем с лампами накаливания. Однако большие первоначальные затраты быстро окупятся за счет меньшего расхода электроэнергии и большего срока службы ламп. Срок окупаемости может быть рассчитан достаточно просто. При расчете учитываются: цена светильников и ламп, стоимость монтажа, стоимость электроэнергии, годовая наработка светильников, срок службы ламп, стоимость обслуживания. Специалисты немецкой фирмы Osram рассчитали, что срок окупаемости при замене ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы со встроенными электронными аппаратами включения (цена — около 10 евро) при ежедневной наработке всего 3 часа и стоимости электроэнергии 10 центов за киловатт-час составляет около одного года.

Кроме экономии электроэнергии, использование люминесцентных ламп ведет к сокращению и эксплуатационных расходов, так как срок службы их в 15 – 20 раз больше, чем у ламп накаливания. Необходимо иметь в виду, что в некоторых осветительных установках стоимость работы по замене ламп значительно превышает стоимость самих ламп. Это относится, прежде всего, к помещениям с высокими потолками и с труднодоступными светильниками.

Из люминесцентных ламп наиболее предпочтительны лампы последнего поколения в трубках диаметром 16 *мм*, часто называемые лампами серии Т5 (в Германии — Т16). У этих ламп наибольшая световая отдача — до 104 *лм/Вт*, большой срок службы — 20000 часов, высокая стабильность светового потока в течение срока службы (спад всего 5 %). Малый диаметр ламп позволяет наиболее рационально перераспределять световой поток, обеспечивая тем самым более высокие значения КПД и коэффициента использования светового потока, то есть дополнительную экономию электроэнергии.

Существенный вклад в экономию электроэнергии при одновременном повышении комфортности и надежности освещения дает использование электронных аппаратов включения люминесцентных ламп. Светильники с электронными аппаратами включения должны как можно шире внедряться во всех помещениях с длительным пребыванием людей или их напряженной зрительной работой. Российские Санитарные правила и нормы СанПин 2.21/2.1.1.1278-03 реко-

мендуют в помещениях с дисплеями применять светильники с люминесцентными лампами и электронными аппаратами включения. Интересно также отметить — в Белоруссии законодательно установлено, что в школьных классах для освещения должно использоваться только высокочастотное питание люминесцентных ламп.

Дополнительную экономию электроэнергии в осветительных установках дает использование аппаратов с регулировкой светового потока ламп. На базе таких аппаратов создаются системы автоматического управления освещением. В Западной Европе в настоящее время широко внедряются такие системы, позволяющие экономить до 75 % электроэнергии.

Критерий ***удобства эксплуатации*** тесно связан с критерием экономичности. Он включает в себя доступность светильников для чистки оптических элементов (отражателей и рассеивателей) и замены источников света по мере выхода их из строя. Удобство эксплуатации обеспечивается, с одной стороны, расположением светильников, а с другой стороны — их конструкцией. Иногда встречаются светильники, в которых замена перегоревших ламп является «непростой» задачей, требующей больших затрат времени и применения специального инструмента. Примером удачного конструктивного решения могут быть светильники ***OPL, PRS*** (рис.68), ***PTF, PTB*** и другие, в которых оптические элементы установлены на скрытых пружинах.



Рис. 68. PRS/S

Чистка светильников должна производиться не реже двух раз в год. В пыльных помещениях целесообразно применять светильники со степенью защиты не ниже IP54, так как внутренние оптические элементы в них остаются чистыми, и процесс чистки значительно упрощается.

Эстетичность светильников для освещения промышленных предприятий не имеет решающего значения, однако в общественных зданиях и в быту она часто является одним из решающих критериев при выборе осветительных приборов, а при освещении представительских помещений, уникальных архитектурных сооружений и в ряде других случаев в жертву эстетичности приносятся все остальные критерии. В таких помещениях часто используются крайне неэффективные лампы накаливания и хрустальные люстры, создающие совершенно неприемлемую блескость. Тем не менее, при прочих равных условиях и для освещения промышленных предприятий потребители предпочтут более красивые светильники неказистым моделям.

Эстетичность осветительных приборов обеспечивается их конструкцией и качеством применяемых материалов. Очень привлекательно выглядят, например, светильники с корпусами из стеклонаполненных полиэфирных смол (***PAC, ALS*** — рис. 66, 65), поликарбоната (***LZ, K200, K300, C360***), полиамида (***HB, HBS, HBF*** — рис. 69).



Рис. 69. HB

Эстетичность освещения зависит не только от дизайна осветительных приборов, но и от их расположения. В последние годы очень широкое распространение получили подвесные потолки. Такие потолки отлично сочетаются со встраиваемыми светильниками с люминесцентными лампами. Именно такой тип освещения сейчас наиболее распространен в крупных магазинах и других общественных местах. Следует отметить, что новое поколение люминесцентных ламп с диаметром трубки 16 *мм* создано с расчетом на максимальное использование именно в светильниках, встраиваемых в подвесные потолки. Для этого длина ламп несколько уменьшена по сравнению со стандартными лампами, чтобы светильники точно соответствовали размерам модулей подвесных потолков (600 х 600 *мм*).

С точки зрения эстетики интересны встраиваемые светильники типа ***AST***, длина которых соответствует размеру диагонали стандартного модуля подвесных потолков. Это позволяет разнообразить и оживить вид помещений с осветительными установками на базе таких светильников (рис. 70).

Для «вытянутых» помещений часто целесообразно создавать осветительные установки в виде сплошных светящихся линий. Для этого разными фирмами выпускаются так называемые «модульные» светильники. В качестве образцов таких светильников можно назвать ***TOP*** и ***LNB*** (рис. 61, 71).

В помещениях с низкими потолками (до 3,5 *м*) целесообразно использовать встраиваемые или потолочные светильники. В более высоких помещениях лучше применять подвесные светильники, например, тот же ***TOP***. При этом использование подвесных светильников позволяет экономить электроэнергию, так как расстояние от светильника до освещаемой поверхности становится меньше,



Рис. 70. AST/R

Рис. 71. LNB (Line)

а освещенность обратно пропорциональна квадрату этого расстояния.

В конце 90-х годов минувшего века психологи разных стран пришли к выводу, что в помещениях с длительным пребыванием людей применение только встраиваемых светильников нежелательно, так как потолки при этом освещаются светом, отраженным от стен, пола и мебели, и выглядят темными. Это отрицательно сказывается на самочувствии и настроении людей. Поэтому, если в таких помещениях уже установлены встраиваемые светильники, желательно дополнительно использовать настенные светильники, например, ***OTN*** .

В настоящее время за рубежом для освещения помещений с длительным пребыванием людей наиболее распространены подвесные светильники с «двойным» светораспределением, то есть светящие и в нижнюю, и в верхнюю полусферы. Часто в таких светильниках «нижние» и «верхние» лампы питаются через отдельные аппараты с регулированием светового потока, что позволяет устанавливать оптимальное соотношение яркостей стен и потолка. Достаточно хорошо подсвечиваются потолки встраиваемыми светильниками с опаловыми или призматическими рассеивателями, выступающими за плоскость потолка, например, ***DR.OPL, DR.PRS*** или потолочными ***OPL/S, PRS/S*** (рис. 68).

Очень эффективны в некоторых помещениях встраиваемые светильники направленного света с компактными люминесцентными или металлогалогенными лампами (серия ***DL*** рис. 48 – 50).

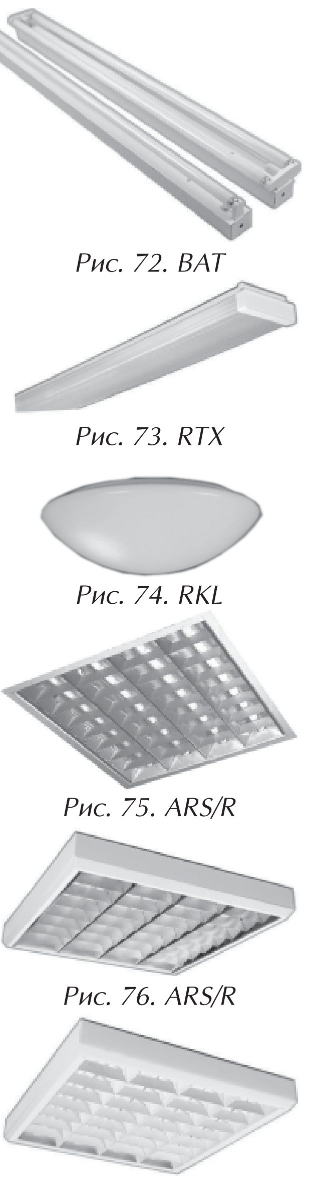


Рис. 72. BAT

Рис. 73. RTX

Рис. 74. RKL

Рис. 75. ARS/R

Рис. 76. ARS/R

Рис. 77. WRS/S

Для освещения вспомогательных помещений (коридоры, лестничные клетки, гардеробы и т.п.), в которых люди находятся не постоянно, целесообразно использовать наиболее простые светильники, например, типа ***BAT, RTX, RKL*** (рис. 72 – 74). Если при этом помещение сырое или пыльное, то более пригодны светильники типа ***KRK***, конструкция корпуса и патронов которого обеспечивает высокую степень защиты (IP65), а также второй класс защиты от поражения электрическим током.

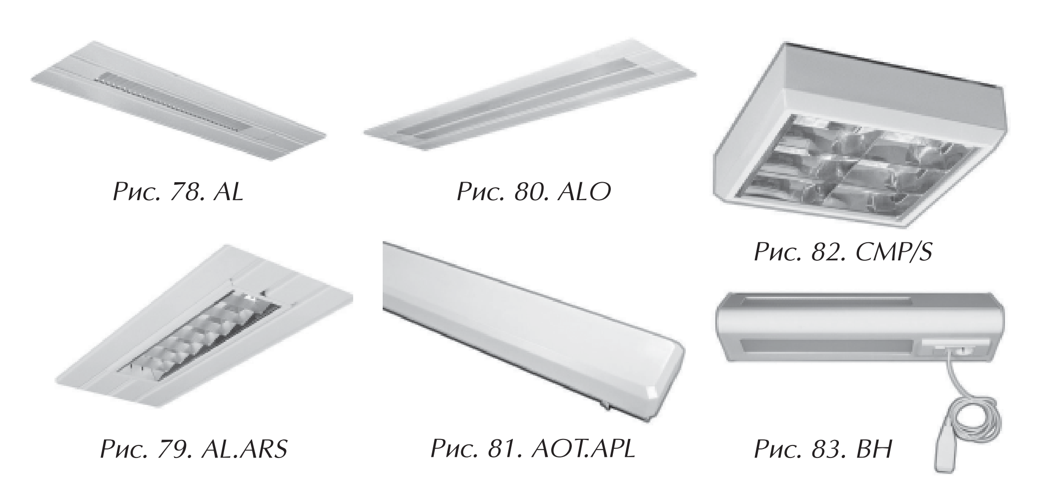


Рис. 78. AL

Рис. 80. ALO

Рис. 82. CMP/S

Рис. 79. AL.ARS

Рис. 81. AOT.APL

Рис. 83. BH

Одними из наиболее универсальных можно считать светильники ***ARS*** (рис. 75, 76) и ***WRS*** (рис. 77), пригодные для освещения большинства общественных помещений. Если в помещениях потолки реечные, то такая же универсальность применения характерна для светильников ***AL, AL.ARS, ALO*** (рис. 78 – 80).

Для освещения школьных классов, аудиторий, библиотек могут быть рекомендованы светильники ***AOT*** (рис. 81) с опаловыми или призматическими рассеивателями. Для небольших помещений хорошо подходят также светильники ***CMP*** (рис. 82) с компактными люминесцентными лампами. В больничных палатах может найти самое широкое применение прикроватный светильник ***BH*** с «двойным» светораспределением, у которого нижняя лампа работает с электронным аппаратом включения (рис. 83).

* * *

Из сказанного ясно, что при создании осветительных установок и выборе средств освещения нельзя исходить только из принципа «нравится — не нравится». От качества освещения зависят и производительность труда, и уровень брака, и утомляемость людей, и расход электроэнергии, и, в конечном итоге, — здоровье человека и психологический климат в коллективе. Поэтому к вопросу освещения необходимо подходить исключительно ответственно, учитывая все перечисленные критерии качества освещения. Нельзя забывать древнюю мудрость — скупой платит дважды. Сэкономив средства на капитальных затратах за счет установки дешевых осветительных приборов, мы можем многократно проиграть из-за большего расхода электроэнергии, снижения производительности и качества труда, нанесения ущерба здоровью людей.

Предметный указатель

Содержание